

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA**

Katedra environmentálního inženýrství

**NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY A OPTIMALIZACE  
ČISTÍRENSKÉHO PROCESU PRO VÝUKOVÝ MODUL  
GUNT-ČOV**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Autor:**

Bc. Čestmír Černý

**Vedoucí diplomové práce:**

Ing. Petra Malíková, Ph.D.

**Ostrava 2021**

**VSB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**Faculty of Mining and Geology**

Department of Environmental Engineering

**DESIGN OF AN EXPERIMENTAL TASK AND  
OPTIMIZATION OF THE WASTEWATER TREATMENT  
PROCESS FOR THE TRAINING MODULE GUNT-WWTP**

Diploma thesis

**Author:**

Bc. Čestmír Černý

**Supervisor:**

Ing. Petra Malíková, Ph.D.

**Ostrava 2021**

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat Ing. Petře Malíkové, Ph.D. za odborné vedení mé práce, za vstřícnost, trpělivost a cenné rady při jejím zpracování a také za pomoc při práci v laboratoři. Také bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu.

## **ANOTACE**

Ve své diplomové práci jsem se zabýval čištěním odpadních vod a návrhem experimentální úlohy pro modul čistírny odpadních vod. První část mé diplomové práce je literární rešerše na témata jako druhy a složení odpadních vod, jejich čištění, podmínky jejich vypouštění a emisní limity vyčištěných odpadních vod. V praktické části se zabývám popisem výukového modulu čistírny, jeho přípravou před experimentální úlohou, přípravou experimentální úlohy a optimalizací jednotlivých parametrů aktivace. V kapitole optimalizace čistírenského procesu se zabývám jednotlivými parametry aktivačního procesu, kultivací aktivovaného kalu a použitou odpadní vodou.

**Klíčová slova: odpadní voda, čištění odpadních vod, vypouštění odpadních vod aktivační proces, aktivovaný kal**

## **Summary**

In my diploma thesis I dealt with wastewater treatment and the design of an experimental task for a wastewater treatment plant module. The first part of my diploma thesis is a literature search on topics such as types and composition of wastewater, their treatment, conditions of their discharge and emission limits of treated wastewater. In the practical part I deal with the description of the educational module of the treatment plant, its preparation before the experimental task, preparation of the experimental task and optimization of individual activation parameters. In the chapter on the optimization of the treatment process, I deal with the individual parameters of the activation process, the cultivation of activated sludge and the used wastewater.

**Keywords: wastewater, wastewater treatment, wastewater discharge, activated sludge process, activated sludge**

## Obsah

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE .....	1
2	ODPADNÍ VODA .....	2
2.1	Splaškové odpadní vody .....	2
2.2	Průmyslové odpadní vody .....	3
2.3	Srážkové odpadní vody .....	3
3	Čištění odpadních vod .....	4
3.1	Mechanické čištění .....	4
3.1.1	Lapák šterku .....	4
3.1.2	Česle .....	5
3.1.3	Lapák písku .....	6
3.1.4	Usazování .....	7
3.2	Usazovací nádrže .....	7
3.3	Biologické čištění .....	8
3.3.1	Aktivace .....	9
3.4	Fyzikálně-chemické čištění .....	13
4	Vypouštění odpadních vod .....	14
4.1	Emisní limity vypouštěných odpadních vod .....	15
4.1.1	CHSK .....	16
4.1.2	BSK .....	17
4.1.3	Nerozpuštěné látky .....	17
4.1.4	Amoniakální dusík .....	17
4.1.5	Celkový dusík .....	18
4.1.6	Celkový fosfor .....	18
5	POPIS VÝUKOVÉHO MODULU .....	19

5.1	Zásobní jednotka .....	21
5.2	Reakční část .....	22
5.2.1	Aktivační nádrž .....	23
5.2.2	Sekundární usazování .....	24
5.2.3	Zásobník topné vody .....	25
5.2.4	Nádrže na kyselý a zásaditý roztok .....	26
5.2.5	Zásobník vyčištěné odpadní vody .....	26
5.3	Skříň s přepínači .....	27
5.4	Regulační smyčky .....	28
5.4.1	Regulační smyčka hodnoty pH .....	29
5.4.2	Regulační smyčka koncentrace kyslíku .....	29
5.4.3	Regulační smyčka teploty .....	29
6	PŘÍPRAVA EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY .....	30
6.1	Uvedení do provozu .....	30
6.2	Test funkcí .....	31
6.3	Kontrola softwaru .....	33
6.4	Vyřazení z provozu .....	33
6.5	Péče a údržba .....	33
6.6	Nastavení provozních parametrů .....	34
6.7	Příprava zařízení před experimentem .....	35
6.7.1	Stanovení charakteristik čerpadla .....	37
6.8	BOZP .....	38
6.9	Postup experimentu .....	39
6.10	Úkoly, které provázejí experiment .....	41
7	OPTIMALIZACE NASTAVENÝCH PARAMETRŮ VÝUKOVÉHO MODULU .....	42

7.1	Použitá odpadní voda .....	42
7.2	Aktivovaný kal .....	44
7.2.1	Kultivace aktivovaného kalu.....	45
7.2.2	Zatížení kalu.....	46
7.2.3	Koncentrace biomasy .....	47
7.2.4	Poměr vratného kalu .....	47
7.2.5	Poměr vnitřní recirkulace kalu .....	48
7.2.6	Stáří kalu .....	50
7.3	Výpočet parametrů .....	51
8	ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY .....	53
9	ZÁVĚR.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	60
	SEZNAM TABULEK .....	61

## 1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Čištění odpadních vod je téma současnosti i budoucnosti. Voda je strategickou surovinou a udržování její kvality je jednou z priorit každého státu. Náležité čištění odpadních vod slouží jako ochrana životního prostředí a je jedním z důležitých prostředků k udržení či zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod.

Výukové moduly slouží jako ideální nástroj pro ucelení a doplnění teoretických znalostí studentů. Některé poznatky z teoretické výuky jako například parametry aktivačního procesu jsou často těžce uchopitelné bez praktického využití. I proto je užitečné ověřit si představené principy aktivačního procesu na laboratorních úlohách s modulem simulujícím podmínky reálného procesu z praxe.

Cílem mé práce bylo navrhnout experimentální úlohu pro praktickou výuku v laboratořích a optimalizovat proces aktivace modulu GUNT- ČOV. V teoretické části své diplomové práce se zabývám druhy odpadních vod, čištěním odpadních vod a následným vypouštěním vyčištěných odpadních vod spolu s jejími emisními limity. V praktické části popisují zařízení výukového modulu, jeho přípravu před experimentální úlohou, postup experimentu společně s úkoly provázející experiment a také optimalizaci parametrů aktivačního procesu a práci s výukovým modulem GUNT-ČOV.



## 2 ODPADNÍ VODA

Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních. Odpadní vody lze dále dělit podle původu na splaškové, průmyslové a srážkové balastní vody, odpadní vody ze zemědělství, důlní vody. Někdy se můžeme setkat i s pojmem městské odpadní vody, tímto pojmem je označována směs splaškových a průmyslových odpadních vod. [1, 2]

### 2.1 Splaškové odpadní vody

Splaškové odpadní vody jsou produktem biologických činností člověka. Předpokládá se, že vyprodukované množství splaškových odpadních vod je shodné se spotřebou vody. Kromě moči a fekálií, které jsou hlavními podíly organického znečištění, je složení splaškových odpadních vod ovlivněno například použitými čistícími a jinými chemickými prostředky a složením použité pitné vody. Splašky rovněž obsahují určité množství zbytků potravin, papírů, textilií a plastů. Průměrné produkované množství fekálií jedním člověkem je 250 gramů za den s obsahem sušiny 50 gramů, tato sušina je tvořena zbytky střevních bakterií, bílkovinami, polysacharidy a lipidy. Ve splaškové odpadní vodě jsou fekálie zodpovědné za 300 mg/l organických látek a 30 mg/l anorganických látek. Velká část anorganického znečištění splašků pochází z moči, přítomny jsou zejména prvky jako sodík, draslík, vápník, síra, chlor a fosfor. Moč je však z větší části tvořena organickými látkami na bázi dusíku. Velký podíl dusíkatých látek tvoří močovina a v menším množství aminokyseliny a amoniakální dusík. Člověkem je průměrně za den vyloučeno 1,5 litru moči s obsahem sušiny 60 gramů. Ve splaškové odpadní vodě je z moči přítomno 230 mg/l organických látek a 160 mg/l látek anorganických. [2, 3]

## **2.2 Průmyslové odpadní vody**

Složení a druh znečištění průmyslových odpadních jsou závislé na typu průmyslové či zemědělské výroby, ve které vznikly. Ve velké části případů jsou průmyslové odpadní vody více znečištěné nežli odpadní vody splaškové, což vyžaduje, aby byl proces čištění těchto odpadních vod uzpůsoben pro daný průmysl. V některých případech je možným řešením nařazení průmyslových odpadních vod a následné čištění na komunální ČOV. Avšak průmyslové odpadní vody mívají takový typ znečištění, který zabraňuje jejich nátok na komunální ČOV a to z důvodu možnosti ohrožení zařízení čistírny nebo zde probíhajících mikrobiálních procesů. Z tohoto důvodu bývají průmyslové procesy se značnou spotřebou vody a tedy i produkcí vody odpadní opatřeny vlastní čistírnou odpadních vod, která je schopna čistit dané odpadní vody a splnit tak požadavky pro jejich bezpečné vypouštění. [2, 3]

## **2.3 Srážkové odpadní vody**

Srážky vznikají kondenzací v ovzduší a následně se v kapalném stavu dostávají na zemský povrch. Při jejich vzniku dochází k vymývání v oblaku a pod oblakem což vede ke změně složení srážkových vod. Kromě látek běžně se vyskytujících v atmosféře jako jsou dusík, kyslík, oxid uhličitý, argon, či jiné plyny jsou zde přítomny i znečišťující látky ať už přírodní nebo vzniklé antropogenní činností. Zvláště nebezpečné mohou být látky vzniklé při spalování fosilních paliv zejména sloučeniny síry a dusíku. Tyto látky se společně podílí na acidifikaci přírodních vod a půdy. Po dopadu na zemský povrch sebou srážková voda unáší řadu nečistot a v jednotné kanalizační síti dochází k jejímu mísení se splaškovou odpadní vodou a dochází tak k nežádoucímu ředění odpadní vody. [2, 3]

### **3 Čištění odpadních vod**

Odpadní voda je odpadní produkt, jehož vypouštění bez náležitého procesu čištění, ohrožuje jakost povrchových a podzemních vod. Čištění odpadních vod lze dělit podle procesů na mechanické, fyzikálně chemické a biologické. Pomocí těchto procesů zbavujeme odpadní vodu znečišťujících látek nebo jejich koncentraci snižujeme natolik, že je odpadní vodu možné vypouštět bez negativních efektů na životní prostředí.

Vývoj čistících technologií umožnil z odpadní vody získat látky jako je například metan a odpadní voda tudíž nepředstavuje pouze odpadní produkt, ale i zdroj surovin a energie. [3, 4]

#### **3.1 Mechanické čištění**

Mechanické čištění je nedílnou součástí větších čistíren odpadních vod. Nejen že systém mechanického čištění odstraňuje určitý podíl pevných látek, ale slouží také jako ochrana čistírny před poškozením vlivem pevných částic, které by mohly způsobit ucpaní, zaseknutí nebo nadměrné opotřebení strojního zařízení. Z těchto důvodů se mechanické čištění nachází na začátku, tedy na přítoku čistírny odpadních vod. Mechanické čištění může zahrnovat mnoho různých procesů, z nichž každý je navržen tak, aby odstranil určitý typ materiálu. [4, 5]

##### **3.1.1 Lapák šterku**

Účelem lapáku šterku je odstranit těžké anorganické pevné látky, které by mohly způsobit nadměrné mechanické opotřebení. Šterk a jiné pevné anorganické látky se do přítoku na ČOV dostávají s přítokem dešťové odpadní vody, která při stékání z povrchu s sebou unáší množství pevných anorganických nečistot zejména v období přívalových dešťů. Proces je založen na skutečnosti, že šterk je těžší než organické pevné látky, které by měly být udržovány v suspenzi pro zpracování v následujících procesech. Lapák šterku je zpravidla v blízkosti ústí stoky do ČOV. Lapák šterku je konstruován jako jímka ve stoce, která je plněna hrubým materiálem a je pravidelně strojně vybírána tzv. drapákem viz obr. č. 1. [6, 7]



Obrázek 1 Drapák šterku [8]

### 3.1.2 Česle

Česle se obvykle skládají ze série rovnoběžných, rovnoměrně rozmístěných tyčí, které se nazývají česlice. Tok odpadní vody prochází česlemi a pevné látky jsou zachyceny na tyčích, tomuto procesu se také říká cezení. Česle mohou být hrubá s průlinami většími než 60 mm nebo jemná s průlinami menšími než 40 mm. Česle lze čistit ručně, nebo strojně. Strojně čistěná česle (viz obr. č. 2) používají mechanizované shrnovací zařízení ke sběru pevných látek. Česle mohou být nepřetržitě čistěna nebo čistěna v cyklu řízeném časem nebo průtokem. Stejně jako u ručně čistěných česlí musí být i oblast kolem mechanicky ovládaných česlí často čistěna, aby se zabránilo hromadění materiálu. Častěji se používají česle strojně stírané, zejména u středních a velkých čistíren odpadních vod. Výhodou strojně stíraných česlí je lepší průtok a menší nárok na obsluhu. Rychlost vody při průchodu česlemi by vždy měla být větší než 0,25 m/s aby nedocházelo k ucpávání česlí. Sklon strojně stíraných česlí je z pravidla od 45 do 90 stupňů. Pokud je voda do čistírny čerpána, umísťují se před čerpadlem hrubé česle a za ním jemné česle. Materiál zachycený česlemi, který je následně odstraňován se nazývá shrabky. Shrabky z česlí jsou tvořeny hadry, papírem, plasty, gumou, zbytky potravin, fekáliemi atd. Tento odpad je hygienicky velmi nebezpečný. Shrabky z jemných česlí mohou obsahovat více než 80 % vody a je třeba tento obsah vody snížit. Hlavním procesem využívaným ke zmenšení obsahu vody a tedy i objemu shrabků je lisování. Lisování probíhá například pomocí pístového lisu a vede ke snížení obsahu vody až na 40 %.

Shrabky jsou v této podobě dále zpracovávány mimo ČOV a to buď kompostováním skládkováním či spalováním. V ČR je častým postupem stabilizace odvodněných shrabků vápnem a následné skládkování. [7, 9]



Obrázek 2 Strojně stírané česle [10]

### 3.1.3 Lapák písku

Lapák písku (viz obr. č. 3) je zařízení určeno pro zachycení a odstranění hlavního podílu minerálních nerozpuštěných látek, který by mohl ohrozit následující zařízení čistírny. Jedná se o inertní materiál jako popílky, škváru, skořápky, úlomky kostí, úlomky skla a značné množství písku. Lapáky písku jde dělit dle průtoku na horizontální, vertikální, s příčnou cirkulací. Lapáky písku jsou navrženy na odstranění částic o velikosti 0,2 až 0,25 mm. Odstraněný písek je dále propírán vodou, aby se odstranily zachycené organické látky a po následném odvodnění je mimo ČOV skládkován či využíván jako materiál pro posyp komunikací. [11, 12]



Obrázek 3 Lapák písku [13]

### 3.1.4 Usazování

Usazování je separační proces, jehož účelem je odstranění usaditelných organických pevných látek za pomoci gravitační síly. Podle chování usazovaných částic můžeme usazování dělit na prosté a rušené. U prostého usazování se částice vzájemně neovlivňují, zatímco u rušeného usazování dochází k vzájemnému ovlivňování usazovaných částic vlivem hustoty a viskozity. V případě rostoucí koncentrace vznikající suspenze dochází k zahušťování usazených látek a suspenze nabírá ucelený charakter. Za optimálních podmínek lze očekávat, že primární usazování odstraní 90 – 95 % usaditelných pevných látek a 25 – 40 % BSK<sub>5</sub>. Hodnotou BSK označujeme množství spotřebovaného kyslíku na biochemickou oxidaci organických látek v odpadní vodě. Většina BSK však pochází z koloidních a rozpuštěných látek proto se běžně za usazování zařazuje biologický aerobní proces ve formě aktivace či biologických filtrů

Usazování se používá se v primárním a také sekundárním čištění odpadních vod. Zařízení, ve kterých probíhá na ČOV usazování se nazývají usazovací nádrže. Hlavní faktory, které ovlivňují navrhování nádrží pro separaci částic suspenze, jsou nerovnoměrný přítok, vítr, teplota, tvar a rozměry nádrže, turbulence, hustotní proudy, úprava v toku a výtoku. Procentuální účinnost odstranění nerozpuštěných látek a části organického znečištění je do jisté míry závislá na době zdržení. [11, 14]

## 3.2 Usazovací nádrže

Jedná se o ve většině případů kontinuálně protékané nádrže, které jsou uzpůsobeny k vytvoření optimálních podmínek pro usazování. Tyto nádrže lze dělit podle tvaru a typu přítoku na pravoúhlé s horizontálním průtokem (viz obr. č. 4), kruhové s horizontálním průtokem a kruhové s vertikálním průtokem. Pravoúhlé usazovací nádrže s horizontálním průtokem jsou převážně betonové nádrže obdélníkového půdorysu o délce až 30 metrů. Usazený kal se ze dna nádrže odstraňuje pomocí řetězových, lanových nebo pojízdných shrabováků. Stírání plovoucích látek z hladiny je u pravoúhlých nádrží řešeno stejným zařízením sloužícím ke shrabování kalu. Kruhové nádrže s horizontálním průtokem jsou v současné době nejčastěji využívaný typ usazovacích nádrží jak u procesu primárního usazování, tak u procesu dosazování. Průměr nádrže je až 60 m s minimální stěnovou hloubkou 3 metry. Odpadní voda je přiváděna do středu nádrže s vtokovou rychlostí 0,2 m/s. Voda teče od středu nádrže k jejímu kraji, kde je odváděna přes pilový přepad.



Plovoucí a usazené částice jsou strojně odstraňovány. Klec s pohonem ve středu nádrže či mostová konstrukce, která jede na kolech po obvodu nádrže. Kal je z procesu odstraňován buď stíráním do jímky ve středu nádrže, odsáváním, či odčerpáváním, U nádrží se stíracím zařízením je obvodová rychlost zařízení 0,025 až 0,035 m/s tak aby se nevířil usazovaný kal. Usazovací nádrže s vertikálním průtokem jsou méně často využívány a jsou instalovány spíše u menších čistíren odpadních vod Průtok vody je přes středový válec směrem ke dnu a následně mění směr proudění o 180 stupňů. Ve středovém válci se nachází odrazový štít, který zabraňuje zvržení usazeného kalu vlivem proudění odpadní vody. [11, 15]



Obrázek 4 Usazovací nádrž [16]

### 3.3 Biologické čištění

Jedná se o souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů, kterými odstraňujeme organické látky rozpuštěné, koloidní i nerozpuštěné. Replikujeme a několikanásobně urychlujeme samočisticí procesy, které probíhají v přírodních podmínkách povrchových vod. Využíváme toho, že znečišťující látky v odpadní vodě mohou sloužit jako potrava neboli substrát pro mikroorganismy takzvaného aktivovaného kalu. Organická hmota se přenáší z vody do organismů. Rozpustný materiál je absorbován přímo buněčnou stěnou. Nerozpuštěné částice a koloidní látky se adsorbují na buněčnou stěnu, kde se rozkládají na jednodušší rozpustné formy a poté se absorbují buněčnou stěnou. Substrát se přeměňuje na buněčnou hmotu syntézou a oxidací na konečné

produkty, jako jsou oxid uhličitý, voda a amoniak, stabilní organický odpad a nové buňky. Biologické čištění je tedy kultivace mikroorganismů za účelem čištění odpadních vod. Procesy biologického čištění odpadních vod lze dělit podle toho, zda probíhají za podmínek aerobních či anaerobních. Aerobní čištění se na čistírnách provádí v provzdušňovaných aktivačních nádržích, tento proces je důležitý nejen pro odstranění organického znečištění, ale také slouží ke snížení koncentrace dusíku a fosforu v odpadní vodě. Anaerobní čištění odpadních vod probíhá ve vyhnívacích nádržích bez přístupu vzduchu. Tato metoda je využívána k čištění velmi silně znečištěných odpadních vod. Těchto anaerobních procesů je využito při stabilizaci kalu v kalovém hospodářství. [11, 17]

Úkolem čistírny je zabezpečit optimální růstové a životní podmínky pro využívané mikroorganismy. Mikroorganismy lze dělit podle toho, jaký typ substrátu potřebují k životu. Autotrofním mikroorganismům stačí k životu pouze anorganické látky, protože z nich dokáží syntetizovat všechny složky svých buněk. Heterotrofní mikroorganismy vyžadují organické sloučeniny. Organismy lze dělit také podle způsobu příjmu uhlíku. Litotrofní organismy využívají jako zdroj uhlíku oxid uhličitý. Organotrofní organismy využívají jako zdroj uhlíku organické látky. Dále můžeme dělit mikroorganismy podle způsobu získávání energie. Fototrofní mikroorganismy získávají energii přeměnou světelné energie na energii chemickou pomocí asimilačních barviv. Chemotrofní mikroorganismy získávají energii oxidací chemických sloučenin. [11, 17]

### 3.3.1 Aktivace

Aktivace je aerobní technologický proces využívající metabolismu jednotlivých mikroorganismů. Jedná se o nejpoužívanější metodu aerobního biologického čištění odpadních vod. Aktivace se provádí v aktivačních nádržích. Zpravidla se jedná o nádrže obdélníkového půdorysu. Do těchto nádrží je přiváděna odpadní voda z usazovací nádrže a je následně mísená s aktivovaným kalem. Směs odpadní vody a aktivovaného kalu je intenzivně provzdušňována. Aktivační nádrže (viz obr. č. 5) jsou provzdušňovány buď to mechanicky pomocí aerátorů, hydropneumaticky pomocí ejektorů, či pneumaticky pomocí kompresorů a dmýchadel. U velkých čistíren odpadních vod je nejpoužívanější pneumatický způsob provzdušňování, protože jsou tímto způsobem tvořeny malé bublinky vzduchu, které zajišťují nejlepší přestup kyslíku do vody. Po vyčištění se odpadní voda vede na proces dosazování, kde je oddělena od aktivovaného kalu. [17, 18, 19]



Část odděleného aktivovaného kalu je jako vratný kal vedena zpět do procesu aktivace, aby se udržela potřebná koncentrace biomasy pro optimální průběh biologických pochodů. Část odděleného aktivovaného kalu je jako přebytečný kal mísená s kalem primárním. Výsledná směs je dále zpracovávána v části čistírny, která se souhrnně označuje jako kalové hospodářství. [17, 18, 19]

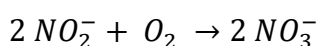
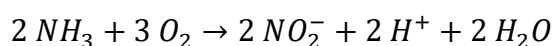
Aktivovaný kal je přirozená směsná kultura mikroorganismů vločkovitého charakteru. Tuto směsnou kulturu můžeme získat i provzdušňováním odpadní vody. Aktivovaný kal je ze 70 – 90 % složen z organických a 10 – 30 % anorganických látek. Anorganický podíl složení aktivovaného kalu je nejčastěji uváděn procentuálně jako. [17, 18, 19]

Mikroorganismy aktivovaného kalu můžeme dělit na vločkotvorné a vláknité, pokud převládá výskyt vláknitých mikroorganismů, může to vést k špatným usazovacím a zahušťovacím vlastnostem kalu. Složení kalu závisí na složení substrátu, složení odpadní vody a technologických parametrech aktivace. Schopnost dělení vloček kalu od vyčištěné odpadní vody prostou sedimentací je velmi důležitá pro správné fungování čistírenského procesu. Nejčastěji se vyskytující rody bakterii v aktivovaném kalu jsou *Pseudomonas*, *flavobacterium*, *Achromobacter*, *Hcromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Nocardia* a *Lophomonas* kromě bakterií jsou v menším množství v aktivovaném kalu přítomny houby, plísňe, kvasinky, prvoci, vířníci a hlístice. Pro udržení pracovních organismů v procesu aktivovaného kalu musí provozovatel zajistit udržování vhodného prostředí vědomím mnoha faktorů ovlivňujících proces a jejich opakovaným sledováním. [17, 18, 19]

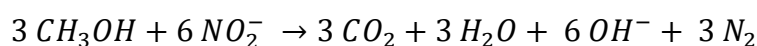
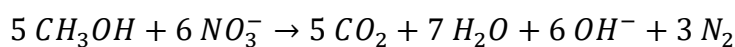
Proces aktivovaného kalu musí být dostatečně provzdušněn, aby udržel aktivovaný kal v suspenzi a uspokojil požadavky organismu na kyslík. Nedostatečné promíchání má za následek slepá místa, septické podmínky anebo ztrátu aktivovaného kalu. Proces aktivovaného kalu vyžaduje dostatečnou alkalitu, aby bylo zajištěno, že pH zůstane v přijatelném rozmezí 6,5 – 9,0. Pokud se organický dusík a amoniak přeměňují na dusičnany, musí být k dispozici také dostatečná zásaditost, aby se podpořil tento proces. Mikroorganismy procesu aktivovaného kalu vyžadují ke svému fungování živiny jako dusík, fosfor, železo a další stopové kovy. [11, 18, 19]

Pokud není k dispozici dostatek živin, proces nebude fungovat podle očekávání. Požadovaný poměr uhlíku, dusíku, fosforu a železa je 100:5:1:0,5. Mikroorganismy aktivovaného kalu mohou být poškozeny nebo usmrceny velkými změnami pH. Postupné změny v rozmezí pH 6,5 – 9,0 nezpůsobí žádné velké problémy, rychlé změny jedné nebo více jednotek pH však mohou mít významný dopad na výkon čistícího procesu. Vypouštění průmyslové odpadní vody, septiků nebo značného množství dešťové vody mohou způsobovat velké odchylky pH. Hrozbu pro život mikroorganismů aktivovaného kalu představují některé toxické látky, které jsou při určité koncentraci schopny usmrtit mikroorganismy. Jedná se hlavně o těžké kovy jako měď, zinek, nikl, olovo, kadmium a chrom nebo například kyanidy. [11, 18, 21]

Proces aktivace je pro čištění odpadních vod důležitý nejen z pohledu snižování organického znečištění odpadní vody, ale také snižování koncentrace fosforu a dusíku. Dusík a fosfor jsou prvky, které přispívají k průběhu eutrofizace přírodních vod, což vede ke snižování jakosti přírodních vod, k poklesu kyslíku a v krajních případech likvidaci života recipientů. Způsob, kterým se v aktivaci snižuje koncentrace dusíku v odpadní vodě, zahrnuje dva na sobě závislé procesy jménem nitrifikace a denitrifikace. Během nitrifikace je amoniak oxidován na dusitany skupinou autotrofních bakterií, nejčastěji *Nitrosomonas nitrosococcus*, *nitrospira* a *nitrosocystis*. Dusitany se poté oxidují na dusičnany jinou skupinou autotrofních bakterií, nejběžnější je *nitrobacter* a *nitrocystis* [11, 18, 19]



Na rozdíl od nitrifikace proces denitrifikace probíhá v anoxickém prostředí. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby proces aktivace obsahoval zóny, ve kterých jsou vytvořeny požadované anoxické podmínky. Denitrifikace zahrnuje biologickou redukci dusitanu na oxid dusnatý, oxid dusný a plyný dusík. Heterotrofní i autotrofní bakterie jsou schopné denitrifikace. Nejběžnější a široce distribuovanou denitrifikační bakterií jsou druhy *Pseudomonas*, které mohou pro denitrifikaci používat vodík, methanol, uhlovodíky, organické kyseliny, alkoholy, benzoáty a další aromatické sloučeniny. [11, 18, 19]





**Obrázek 5** Aktivační nádrže [20]

Biologické odstraňování fosforu závisí na absorpci fosforu anaerobními heterotrofy schopnými ukládat ortofosfáty nad rámec jejich biologických a růstových požadavků, proces je někdy nazýván „luxury uptake“. Proces čištění musí být navržen tak, aby podporoval růst těchto druhů organismů, známých jako polyp bakterie. Za anaerobních podmínek převádějí snadno dostupné organické látky, zejména kyselinu octovou na sloučeniny uhlíku, zvané poly-b-hydroxymáselné kyseliny, k tomu používají energii generovanou během rozpadu molekul polyfosfátu. Tato reakce má paradoxně za následek uvolňování hydrolyzovaných fosforečnanů do odpadní vody a koncentrace fosforu ve vodě stoupá. Za následných aerobních podmínek aktivačního procesu, polyp bakterie používají uložené poly-b-hydroxymáselné kyseliny jako energii k absorpci fosforu, který byl uvolněn v anaerobní zóně, a také jakéhokoli dalšího fosforu přítomného v odpadní vodě. Kromě snížení koncentrace fosforečnanů proces obnovuje polyfosfátovou směs ve vratném kalu, aby bylo možné proces opakovat. Tímto způsobem je tedy vázaný fosfor odstraňován v přebytečném aktivovaném kalu. Obsah fosforu v sušině přebytečného kalu je 4 – 6 %. [11, 17, 21]

### 3.4 Fyzikálně-chemické čištění

Fosfor lze také odstranit z odpadních vod chemickým srážením. Rozpuštěné formy fosforu v odpadní vodě, které tvoří svým podílem většinu, lze převést na málo rozpustnou formu srážením pomocí železitých, železnatých, hlinitých, či hořečnatých solí. Nejčastěji používané srážecí činidlo je síran železitý. Vzniklou sraženinu lze následně od odpadní vody oddělit sedimentací či filtrací. Srážecí činidlo lze podle potřeby dávkovat do jednotlivých částí provozu čistírny. Předsrážení se nazývá postup, kdy dávkujeme koagulant již před biologickou část čistírny. Při simultánním srážení dávkujeme srážecí činidla do aktivace a srážení probíhá simultánně s biologickým procesem čištění. Poslední možností je dávkování srážecích činidel za biologický proces a to například do procesu dosazování. Ve srovnání s biologickým odstraňováním fosforu však mají chemické procesy vyšší provozní náklady, produkují více kalu a mají za následek přidávání chemických látek do kalu. [22, 23]

#### 4 Vypouštění odpadních vod

Zneškodňováním odpadních vod se pro účely vodního zákona rozumí jejich vypouštění do vod povrchových nebo podzemních nebo akumulace s jejich následným odvozem na čistírnu odpadních vod podle odstavce 8. Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění. Při stanovování těchto podmínek je vodoprávní úřad povinen přihlížet k nejlepším dostupným technologiím v oblasti zneškodňování odpadních vod, kterými se rozumí nejúčinnější a nejpokročilejší stupeň vývoje použité technologie zneškodňování nebo čištění odpadních vod, vyvinuté v měřítku umožňujícím její zavedení za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek a zároveň nejúčinnější pro ochranu vod. Kdo vypouští důlní vody do vod povrchových nebo podzemních podle zákona o ochraně a využití nerostného bohatství), může tak činit pouze způsobem a za podmínek, které stanoví vodoprávní úřad. [1, 24]

Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod je zakázáno. Vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné závadné látky nebo zvláště nebezpečné závadné látky (§ 39 odst. 3) z jedné nebo několika územně souvisejících staveb pro bydlení, staveb pro rodinnou rekreaci<sup>51)</sup> nebo z jednotlivých staveb poskytujících ubytovací služby<sup>52)</sup>, vznikajících převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnostech, přes půdní vrstvy do vod podzemních lze povolit, pokud není v daném případě technicky možné nebo s ohledem na zájmy chráněné tímto zákonem nebo jinými právními předpisy možné nebo žádoucí, vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Povolení vypouštění odpadních vod do vod podzemních podle věty druhé nelze vydat bez souhlasného vyjádření osoby s odbornou způsobilostí<sup>8)</sup>, která posoudí vliv vypouštění odpadních vod na jakost podzemních vod. Maximální povolené množství odpadních vod vypouštěné z jedné nebo několika územně souvisejících staveb pro bydlení nesmí celkově přesáhnout 15 m<sup>3</sup>/den. [1, 24]

Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen v souladu s rozhodnutím vodoprávního úřadu měřit objem vypouštěných vod a míru jejich znečištění a výsledky těchto měření předávat vodoprávnímu úřadu, který rozhodnutí vydal, příslušnému správci povodí a pověřenému odbornému subjektu. Vodoprávní úřad tímto rozhodnutím stanoví místo a způsob měření objemu a znečištění vypouštěných odpadních

vod a četnost předkládání výsledků těchto měření. Odběry a rozborů ke zjištění míry znečištění vypouštěných odpadních vod mohou provádět jen odborně způsobilé osoby oprávněné k podnikání. Odborná způsobilost pro rozborů odpadních vod a provádění odběrů vzorků se prokazuje osvědčením o akreditaci vydaným podle zákona o technických požadavcích na výrobky, osvědčením o správné činnosti laboratoře nebo autorizací k výkonu úředního měření podle zákona o metrologii, vztahující se na analytické stanovení relevantních ukazatelů a na odběr požadovaného typu vzorků odpadních vod. [1, 24]

#### 4.1 Emisní limity vypouštěných odpadních vod

Vodoprávní úřad stanoví v povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových emisní limity kombinovaným přístupem maximálně do výše emisních standardů uvedených v příloze č. 1 Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. (viz tab. č. 1) [24]

Vodoprávní úřad je zároveň vázán ukazateli vyjadřujícími stav povrchové vody, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění povrchových vod, normami environmentální kvality uvedenými v přílohách č. 2 a 3 k Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a hodnocením výhledového stavu. Jsou-li odpadní vody před vypuštěním do vod povrchových čištěny a vodoprávní úřad stanoví emisní limit jako minimální účinnost čištění, musí být ve stejné době odebírány vzorky odpadních vod na přítoku na čistírnu odpadních vod i na výpusti z ní do vod povrchových. [24]

Toto ustanovení se nevztahuje na čištění odpadních vod prostřednictvím ohlášeného vodního díla. [24]

**Tabulka 1 Emisní limity vyčištěných odpadních vod [24]**

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK <sub>Cr</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N <sub>celk</sub>		P <sub>celk</sub>	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m4)·6)	průměr	m4)·6)	průměr	m
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 -10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001 -100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Rozumí se kategorie čistírny odpadních vod vyjádřená v počtu ekvivalentních obyvatel. Ekvivalentní obyvatel (EO) je definovaný produkcí znečištění 60 g BSK<sub>5</sub> za den.

Počet ekvivalentních obyvatel se pro účel zařazení čistírny odpadních vod do velikostní kategorie vypočítává z maximálního průměrného týdenního zatížení na přítoku do čistírny odpadních vod během roku s výjimkou neobvyklých situací, přívalových dešťů a povodní. Pro určení velikosti aglomerace se použije stejný postup pro všechny odpadní vody odváděné kanalizací pro veřejnou potřebu. Pro účely stanovení limitů se použije vyšší z obou hodnot. [24]

U kategorií ČOV pod 2000 EO lze použít pro účel zařazení čistírny do velikostní kategorie (v tabulce 1a nebo 1b v příloze č. 1 a v tabulce 1 v příloze č. 4 k Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) výpočet z bilance v ukazateli  $BSK_5$  v kg za kalendářní rok na přítoku do čistírny vydělený koeficientem 18,7.

U nových ČOV se pro zařazení do velikostní kategorie v prvním roce po výstavbě (zkušební provoz) použije návrhový parametr v zatížení  $BSK_5$ . Po prvotním provedení kategorizace je v případě změny zatížení další kategorizace prováděna až s ukončením platnosti povolení k vypouštění odpadních vod. [24]

Uváděné přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře podle hodnot uvedených v příloze č. 5 k tomuto nařízení. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 v příloze č. 4 Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Uváděné maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku uvedený v tabulce 1 přílohy č. 4 k tomuto nařízení v souladu se stanovením hodnoty „p“. Uváděné hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok a nesmí být překročeny. Počet vzorků odpovídá ročnímu počtu vzorků stanovenému vodoprávním úřadem. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 v příloze č. 4 k Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [24]

#### 4.1.1 CHSK

Jedná se o chemickou spotřebu kyslíku udávanou v mg/l. Je určena jako množství oxidačního činidla spotřebovaného na oxidaci organických látek za určitých podmínek. Spotřebovaný objem oxidačního činidla se přepočítává na mg/l kyslíku. Jako oxidační činidlo je dnes ve většině případů používán dichroman draselný a v případě analýzy užitkových, podzemních, povrchových, či pitných vod méně používaný manganistan

draselný. Důvodem upouštění od oxidačního činidla manganistanu draselného je nedostatečná schopnost oxidace většiny organických látek a tedy velký rozdíl mezi CHSK a teoretickou spotřebou kyslíku. Druh použitého oxidačního činidla v analýze je uveden jako spodní index  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  či  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ . [2, 23]

#### 4.1.2 BSK

BSK je označení pro biochemickou spotřebu kyslíku. Je definována jako Spotřebované množství kyslíku za oxických podmínek biochemickou oxidací organických a anorganických látek ve vodě. Jelikož je tato metoda zaměřená na měření množství biologicky rozložitelných organických látek, ve vyčištěné odpadní vodě výsledek vypovídá o účinnosti biologického stupně čištění dané čistírny.

Biochemická spotřeba kyslíku je závislá na čase. Čas, po jehož uplynutí je měřena koncentrace kyslíku ve vodě se nazývá inkubační doba. Standardní inkubační doba je 5 dní a tato metoda je označována  $\text{BSK}_5$ . Úplnou biochemickou oxidací označujeme měření po inkubační době 20 dnech. [2, 23]

#### 4.1.3 Nerozpuštěné látky

Udává koncentraci nerozpuštěných látek ve vyčištěné odpadní vodě. Jedná se o ukazatel vypovídající o účinnosti dosazovací nádrže. Určuje se Filtrací přes přepážku. Množství a druh zachycených částic je ovlivněno velikostí pórů použité filtrační přepážky. Zvážené množství nerozpuštěných látek je přepočítáno na mg/l. [2, 23]

#### 4.1.4 Amoniakální dusík

Amoniakální dusík se v odpadní vodě vyskytuje ve formě amonného kationtu  $\text{NH}_4^+$  a jako nedisociovaná molekula  $\text{NH}_3$ . Amoniakální dusík se v aktivačních nádržích při procesu nitrifikace oxiduje na dusitany a dusičnany a následně redukuje v anaerobních podmínkách až na plyný dusík. Zvýšená koncentrace amoniakálního dusíku na výstupu z čistírny může tedy signalizovat nesprávně fungující systém aktivace. Amoniakální dusík se stanovuje analýzou jako souhrn jeho obou forem a vyjadřuje se jako koncentrace v mg/l. [2, 23]



#### 4.1.5 Celkový dusík

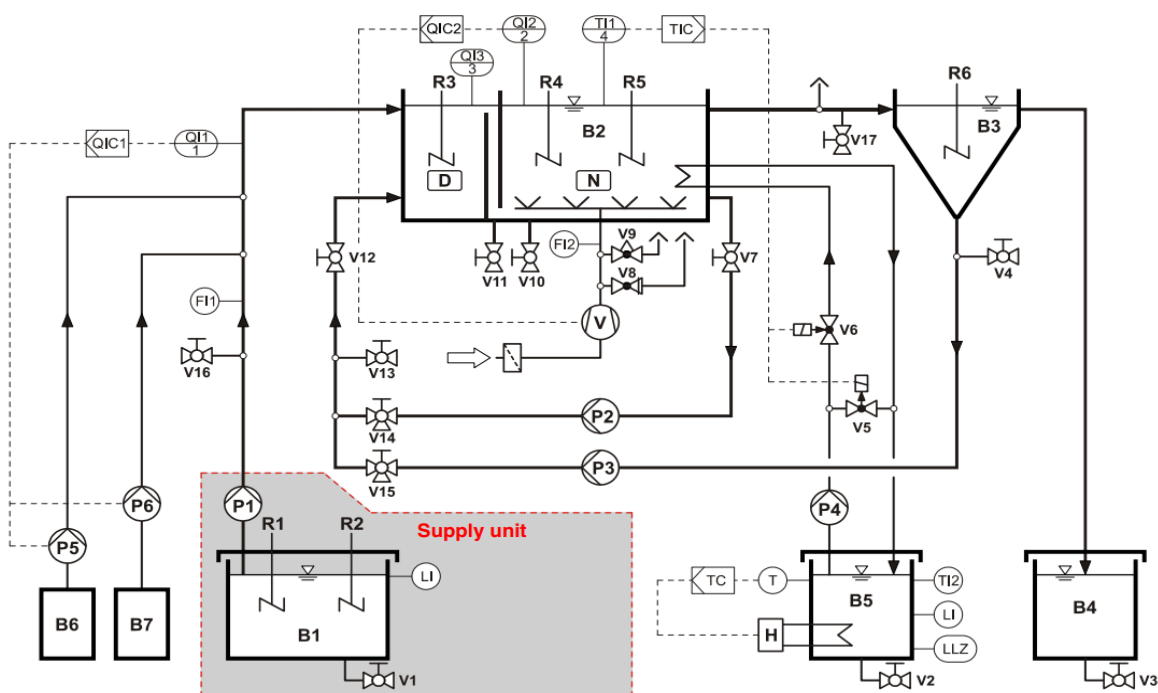
Celkový dusík označovaný  $N_{\text{celk}}$  je součet organicky a anorganicky vázaného dusíku v odpadní vodě. Mezi anorganické sloučeniny v odpadní vodě patří amoniakální dusík, dusitanový dusík a dusičnanový dusík. Zatím co koncentrace amoniakálního dusíku vypovídá o správném fungování nitrifikačního procesu, neudává konečnou koncentraci dusíku ve vyčištěné odpadní vodě. [2, 23]

#### 4.1.6 Celkový fosfor

Fosfor stejně jako dusík je prvek, který pokud je vypouštěn do recipientu napomáhá eutrofizaci povrchových vod. Proto je koncentrace sloučenin fosforu ve vypouštěných odpadních vodách sledována.  $P_{\text{celk}}$  tedy celkový fosfor je součet rozpuštěných a nerozpuštěných forem fosforu v odpadní vodě. Stejně jako dusík se v odpadní vodě nachází jak organicky tak anorganicky vázaný. [2, 23]

## 5 POPIS VÝUKOVÉHO MODULU

Jedná se o výukový model aktivace se sekundárním usazováním. Schematicky je zobrazen na obr. č. 6 a v tabulkách č. 2 až 6 jsou sumárně popsány jednotlivé charakteristiky modulu. Zařízení se skládá ze zásobní jednotky a reakční části. Zásobní jednotka a reakční část jsou navzájem propojeny hydraulicky a elektricky. Instalace obou částí systému proto může být přizpůsobena místním podmínkám. [16]



<b>B1</b> Nádrž odpadní vody	<b>B2</b> Aktivační nádrž	<b>B3</b> Usazovací nádrž
<b>B4</b> Nádrž vyčištěné odpadní vody	<b>B5</b> Nádrž topné vody	<b>B6</b> nádrž HCl
<b>B7</b> Nádrž NaOH	<b>P1</b> Čerpadlo odpadní vody	<b>P2</b> Oběhové čerpadlo
<b>P3</b> Čerpadlo vratného kalu	<b>P4</b> Čerpadlo topné vody	<b>P5</b> Čerpadlo HCl
<b>P6</b> Čerpadlo NaOH	<b>R1-R6</b> Míchadla	<b>H</b> Ohřívač
<b>V</b> Kompresor	<b>F11</b> Průtok odpadní vody	<b>F12</b> průtok vzduchu
<b>LI</b> Hladina	<b>LLZ</b> Nízká hladina	<b>QL1</b> (1) pH metr
<b>QI2</b> (2) Koncentrace kyslíku v provzdušňované části	<b>QI3</b> (3) Koncentrace kyslíku v neprovzdušňované části	<b>TI1</b> (4) Teplota v aktivační nádrži
<b>TI2</b> Teplota topné vody	<b>QIC1</b> regulátor pH	<b>QIC2</b> regulátor koncentrace kyslíku
<b>TIC</b> Regulátor teploty v aktivační nádrži	<b>TC</b> Regulátor teploty topné vody	

Obrázek 6 Schéma procesu [25]

Bc. Čestmír Černý – Návrh experimentální úlohy a optimalizace čistírenského procesu pro  
výukový modul GUNT-ČOV

**Tabulka 2 Rozměry zařízení [25]**

Zařízení	Rozměry v mm
Zásobní jednotka	1150x790x1150
Reakční část	2900x790x1900

**Tabulka 3 Objemy nádrží [25]**

Nádrž	Objem nádrže v L
Nádrž odpadní vody	200
Aktivační nádrž (celá)	51
Aktivační nádrž (nitrifikační část)	34
Aktivační nádrž (denitrifikační oblast)	17
Sekundární usazovací nádrž	30
Nádrž vyčištěné odpadní vody	80
Nádrž na topnou vodu	17
Nádrž na kyselý roztok HCl	5
Nádrž na zásaditý roztok NaOH	5

**Tabulka 4 Maximální čerpaný objem čerpadel [25]**

Čerpadlo	Čerpaný objem
Peristaltické čerpadla (P1, P2, P3)	25 l/h
Čerpadlo topné vody	660 l/h
kompresor	930 l/h

**Tabulka 5 Maximální otáčky míchadel [25]**

Míchadla	Maximální rychlost v otáčkách/min
Míchadlo odpadní vody (R1,R2)	600
Míchadlo aktivační nádrže	600
Míchadlo usazovací nádrže	45

**Tabulka 6 Měření rozsah veličin [25]**

Měřená veličina	Měřený rozsah veličiny
Hodnota pH (Q11)	1-14
Koncentrace kyslíku (Q12)	0-10 mg/l
Teplota (T11)	0-10 mg/l
Koncentrace kyslíku (Q13)	0-50 °C
Teplota topné vody (Tû2)	0-80 °C
Průtok odpadní vody	2-25 l/h
Průtok vzduchu	50-550 l/h

## 5.1 Zásobní jednotka

Zásobní jednotka je nádrž (viz obr. č. 7), která zásobuje reakční část odpadní vodou. Napájecí jednotka je opatřena dvěma mechanickými míchadly. V horní části napájecí jednotky je umístěno čerpadlo odpadní vody, které slouží k přívodu odpadní vody z napájecí jednotky do aktivační nádrže. Jedná se o čerpadla peristaltická. [25]



1 Odtokový ventil (V1)

2 Nádrž na odpadní vodu

3 Míchadlo (R1)

4 Čerpadlo odpadní vody

5 Míchadlo (R2)

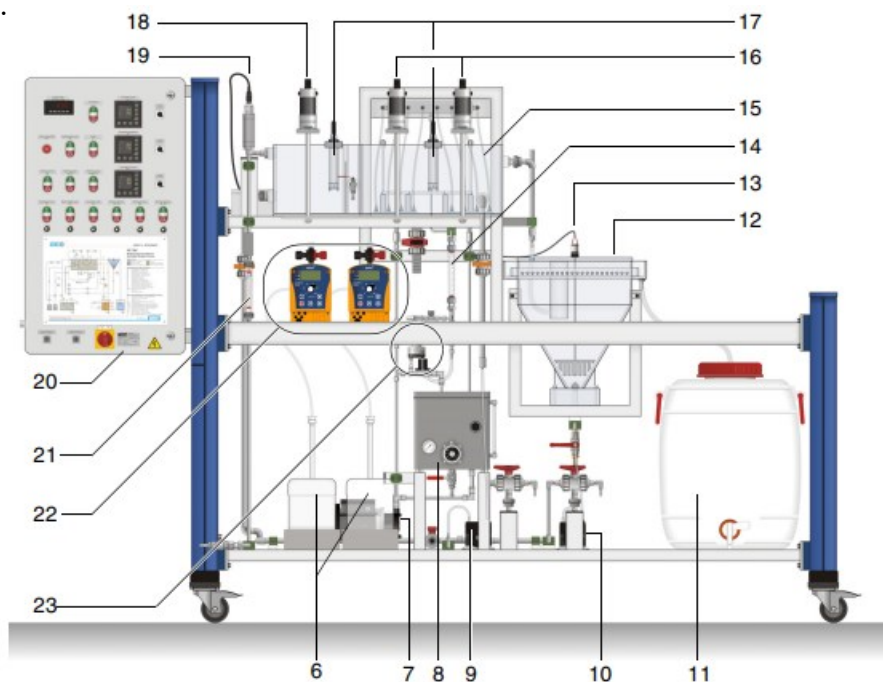
**Obrázek 7 Zásobní část [25]**

Průtoky odpadních vod (FI1) a vzduchu (FI2) se měří průtokoměrem s proměnnou plochou. Naměřená hodnota se čte v horní části plováku. Průtoky se zobrazují v jednotkách l/h. Ve spodní části nádrže odpadní vody se nachází odtokový ventil sloužící k vypouštění napájecí jednotky. Hladiny nádrže na odpadní vodu (B1) a nádrže na topnou vodu (B5) se zobrazují opticky jako vodní sloupec. Zásobník topné vody je také vybaven spínačem pro nedostatek vody (LLZ). Tím je zajištěno, že topení nebude běžet nasucho. [25]

Jakmile se spínač aktivuje, topení a čerpadlo topné vody se vypnou. Tento stav je na spínací skřini zobrazen červeným výstražným světlem. [25]

## 5.2 Reakční část

Reaktor, který je znázorněn na obr. č. 8, obsahuje všechny ostatní komponenty modulu.

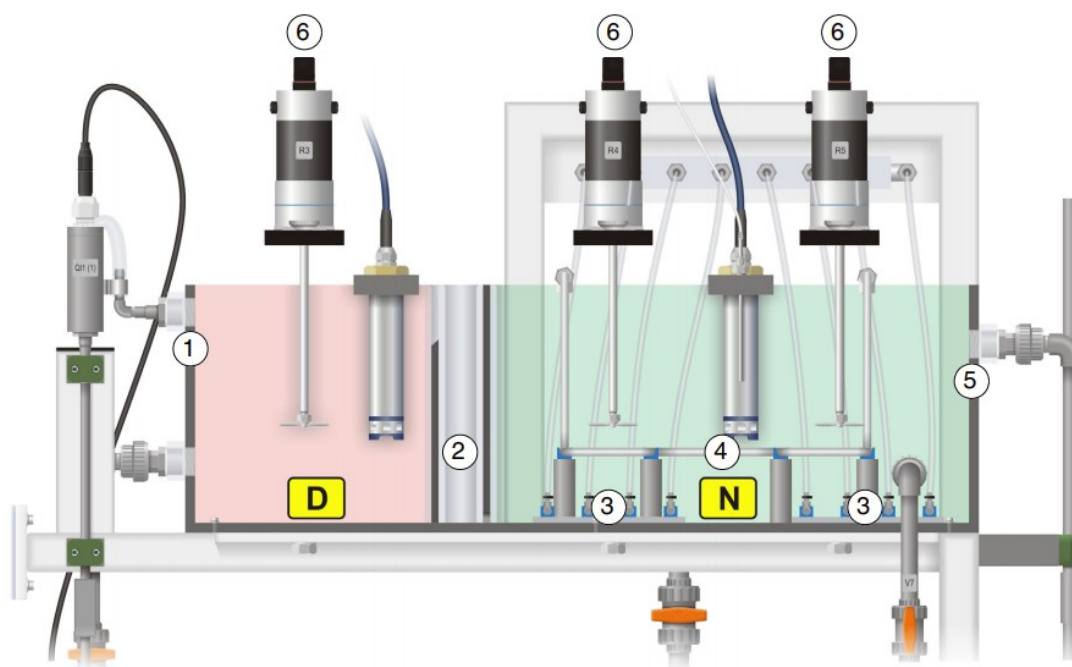


6 Nádrže HCl a NaOH (B6, B7)	7 Čerpadlo topné vody (P4)	8 Nádrž na topnou vodu (B5)
9 Oběhové čerpadlo (P2)	10 Čerpadlo vratného kalu (P3)	11 Nádrž na vyčištěnou odpadní vodu (B4)
12 Usazovací nádrž (B3)	13 Míchadlo (R6)	14 Průtokoměr vzduchu (FI2)
15 Aktivační nádrž (B2)	16 míchadla (R4, R5)	17 kyslíkové sondy (QI2, QI3)
18 míchadlo (R3)	19 pH metr (QI1)	20 rozvaděč
21 průtokoměr odpadní vody (FI1)	22 dávkovací čerpadla (P5, P6)	23 kompresor (V)

**Obrázek 8 Reakční část [25]**

### 5.2.1 Aktivační nádrž

Provzdušňovací nádrž je rozdělena na aerobní a anaerobní oblast viz. obr. č. 9. V anaerobní oblasti, jsou nastaveny anoxické podmínky požadované pro denitrifikaci. Koncentrace kyslíku v neaerované oblasti provzdušňovací nádrže se měří senzorem QI3. Naměřená hodnota je digitálně zobrazena na spínací skříni v jednotkách mg/l. Ve spodní části provzdušňované oblasti je osm plastových vzduchovacích potrubí. Vzduchovací potrubí mají malé otvory ve spodní části, ze kterých proudí vzduch. Ve vzduchovacím potrubí jsou dva ventily. Průtok vzduchu lze nastavit pomocí regulačního ventilu (V9). Pokud je otočný knoflík otočen ve směru hodinových ručiček, průtok klesá. Otáčení proti směru hodinových ručiček zvyšuje průtok. Pojistný ventil (V8) zajišťuje, že nelze překročit maximální přípustný tlak ve vzduchovacím potrubí. V této oblasti mohou být nastaveny aerobní podmínky požadované pro nitrifikaci. [25]



D Neprovzdušňovaná část		N Provzdušňovaná část	
1 Přítok	2 Přepážka	3 Přívod vzduchu	4 Topná voda
5 Odtok	6 Míchadla		

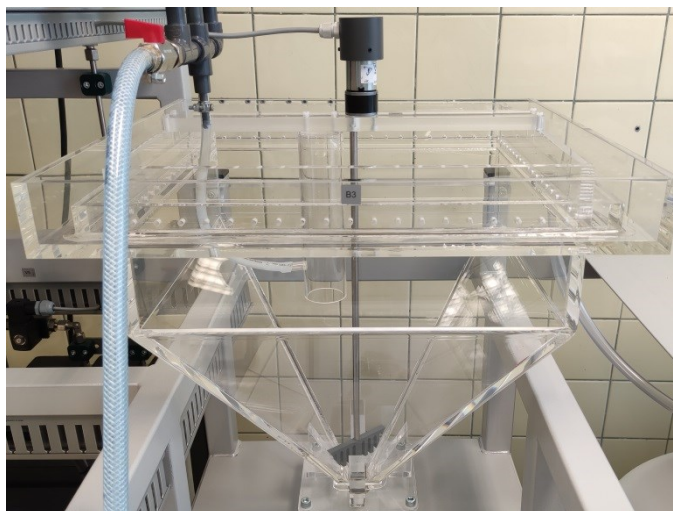
Obrázek 9 Schéma aktivační nádrže [25]

Provozdušňovací nádrž je provozdušňována kompresorem. Na straně sání kompresoru je instalována ochrana proti kalu. Kompresor funguje jako akční člen pro regulační smyčku 2. Potrubí topné vody se nachází nad vzduchovacím potrubím. Tímto způsobem lze ovlivnit teplotu. Obě oblasti provozdušňovací nádrže jsou od sebe odděleny dvěma odnímatelnými oddíly. Na aktivační nádrž je napojeno peristaltické oběhové čerpadlo. Oběhové čerpadlo čerpá odpadní vodu a aktivovaný kal z provozdušňované oblasti do neprovozdušňované oblasti aktivační nádrže. Tato vnitřní recirkulace je nutná pro předběžnou denitrifikaci. Provozdušňovací nádrž je vybavena celkem třemi mechanickými míchadly na míchání odpadní vody s aktivovaným kalem. Přívod do provozdušňovací nádrže je umístěn na levé straně anoxické oblasti. Poté odpadní voda proudí přes první přepážku do mezilehlého prostoru. Ve spodní části konce druhého oddílu jsou malé otvory. Odpadní voda a aktivovaný kal prochází těmito otvory a vstupují do aerobní zóny provozdušňovací nádrže. Odtok je umístěn na pravé straně provozdušňovací nádrže. [25]

### **5.2.2 Sekundární usazování**

Sekundární usazovací nádrž (viz obr. č. 10) je vertikální průtoková sedimentační nádrž. V sekundárním usazování se aktivovaný kal oddělí od vyčištěné odpadní vody. Usazený aktivovaný kal se shromažďuje na dně dosazovací nádrže a je odstraněn čerpadlem vratného kalu (P3). Sekundární čistič je vybaven mechanickým míchadlem (R6). Míchadlo se otáčí velmi pomalu a jeho účelem je zabránit vytvoření proudění v kalovém loži. Toto by mělo za následek čerpání vyčištěné odpadní vody čerpadlem vratného kalu. Pod sekundární usazovací nádrží je umístěno zpětné kalové čerpadlo. Zpětné kalové čerpadlo pumpuje aktivovaný kal usazený v sekundárním odkalovači zpět do provozdušňovací nádrže. P3 lze v případě potřeby provozovat diskontinuálně (spínací hodiny jsou umístěny ve spínací skříni). [25]

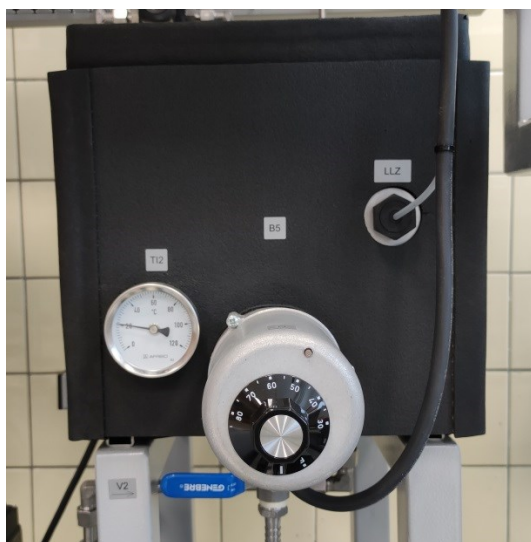
V každém potrubí zpětného kalu a vnitřní recirkulace je třicícný ventil. Ventily se používají pro odběr vzorků a pro stanovení průtoků objemovým měřením. Symbol na rukojeti označuje uzavřenou stranu ventilu. [25]



Obrázek 10 Usazovací nádrž [foto: Černý, 2021]

### 5.2.3 Zásobník topné vody

Zásobník topné vody (viz obr. č. 11) se používá jako akumulční nádrž pro čerpadlo topné vody (P4). Čerpadlo topné vody je umístěno pod zásobníkem topné vody. Toto čerpadlo čerpá topnou vodu přes aerobní oblast aktivační nádrže. Jedná se o odstředivé čerpadlo. Voda je ohřívána topným tělesem (H). Požadovanou teplotu topné vody lze nastavit otočným knoflíkem na ohřivači. Aktuální teplotu vody lze odečíst na teploměru (TI2). [25]



Obrázek 11 Zásobník topné vody [foto: Černý, 2021]



Vizuální indikátor hladiny (LI) je umístěn na pravé straně nádrže. Nádrž je navíc vybavena spínačem pro nedostatek vody (LLZ). Tím je zajištěno, že topení nebude běžet nasucho. Nádrž na topnou vodu je pokryta tepelnou izolací. Vypouštěcí ventil (V2) je umístěn na spodní straně nádrže. V potrubí topné vody jsou dva reverzní elektromagnetické ventily. Výsledkem je, že topná voda prochází přes provzdušňovací nádrž nebo zpět do nádrže na topnou vodu. Solenoidové ventily fungují jako akční členy regulační smyčky 3. Teplota topné vody se zobrazuje teploměrem (TI2) v jednotkách °C. Kromě toho jsou v ohřívači (H) integrovány teplotní čidlo (T) a regulátor (TC). Tím se zabrání příliš vysoké teplotě ohřívače. [25]

#### 5.2.4 Nádrže na kyselý a zásaditý roztok

Pro každé dávkovací čerpadlo je k dispozici sběrná nádrž (viz obr. č. 12). Nádrže jsou umístěny pod dávkovacími čerpadly, které jsou umístěna pod aktivační nádrží. Dávkovací čerpadla jsou magnetická čerpadla. Pokud dávkovací čerpadla čerpají v hydraulicky otevřeném systému, musí být vytvořen protitlak. K vytvoření tohoto protitlaku je každé dávkovací čerpadlo vybaveno multifunkčním ventilem. Dávkovací čerpadla fungují jako akční členy pro regulační smyčku 1. Nádrže lze vyjmout pro plnění a čištění.



Obrázek 12 Nádrže na kyselý a zásaditý roztok [foto: Černý, 2021]

#### 5.2.5 Zásobník vyčištěné odpadní vody

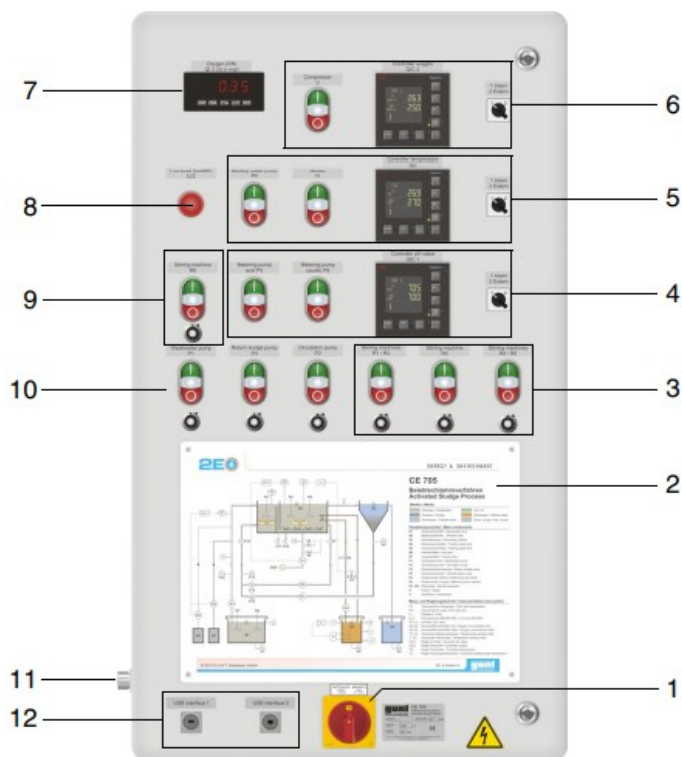
Vyčištěná odpadní voda se shromažďuje v samostatné nádrži (viz. obr. č. 13). Nádrž na vyčištěnou odpadní vodu je vybavena vypouštěcím ventilem. Nádrž na vyčištěnou odpadní vodu je přenosná. Nastavení lze proto v případě potřeby změnit. [25]



Obrázek 13 Zásobník vyčištěné odpadní vody [foto: Černý, 2021]

### 5.3 Skříň s přepínači

Součástí řídicí jednotky (viz obr. č. 14) jsou hlavní ovládací prvky modulu, a to vypínač sloužící k vypnutí a zapnutí jednotky, tlačítko vypnout/zapnout určené k zapínání jednotlivých komponentů, přepínač, kterým lze zvolit způsob ovládání modulu tedy interní přes řídicí jednotku či externí skrze software. Řídicí jednotka je také vybavena potenciometrem. Potenciometr umožňuje nastavení rychlosti míchacích strojů a peristaltických čerpadel (P1 až P3). Čím vyšší jsou otáčky, tím vyšší je čerpaný objem. [25]



1 Hlavní vypínač	2 schéma procesu	3 Ovládání pro míchadla (R1....R5)
4 Ovládání regulační smyčky pH	5 Ovládání regulační smyčky teploty	6 Ovládání regulační smyčky koncentrace kyslíku
7 digitální displej koncentrace kyslíku	8 displej nízké hladiny nádrže topné vody	9 ovládání míchadla R6
10 ovládání nastavitelných čerpadel ( P1....P3)	11 Elektrické spojení se zásobní částí	12 USB konektor pro počítač a webkameru

**Obrázek 14 Schéma skřínky s přepínači [21]**

## 5.4 Regulační smyčky

Senzor měří regulační veličinu (skutečnou hodnotu). Regulátor určuje odchylku mezi řídicí proměnnou a referenční proměnnou (nastavená hodnota). Tato regulační odchylka (např. teplotní rozdíl) je odeslána z regulátoru na akční člen. Akční člen poté koriguje regulační odchylku. Řídicí jednotka je před konfigurována, takže řídicí parametry se obvykle nemusejí měnit. Pokud je ve výjimečných případech nutná změna, musí být provedena podle provozního manuálu výrobce. Základní nastavení regulačních parametrů je uvedeno v technických údajích. [25, 26]

#### **5.4.1 Regulační smyčka hodnoty pH**

Senzor pH měří hodnotu pH v přívodním potrubí do provzdušňovací nádrže (řídící proměnná). Dvě dávkovací čerpadla P5 a P6 fungují jako akční členy. V závislosti na zvolené referenční veličině se dávkovacími čerpadly přidává do odpadní vody hydroxid sodný nebo kyselina chlorovodíková. To umožňuje regulovat hodnotu pH odpadní vody. [25]

#### **5.4.2 Regulační smyčka koncentrace kyslíku**

Koncentrace kyslíku v provzdušňované části provzdušňovací nádrže je regulována přívodem vzduchu. Kyslíkový senzor QI2 měří koncentraci kyslíku v provzdušňovací nádrži (řídící proměnná). Kompresor (V) funguje jako aktivátor. Pokud řídící proměnná klesne pod referenční proměnnou, zvýší se rychlost kompresoru. Pokud řídící proměnná dosáhne referenční proměnné, rychlost kompresoru se sníží. [25]

#### **5.4.3 Regulační smyčka teploty**

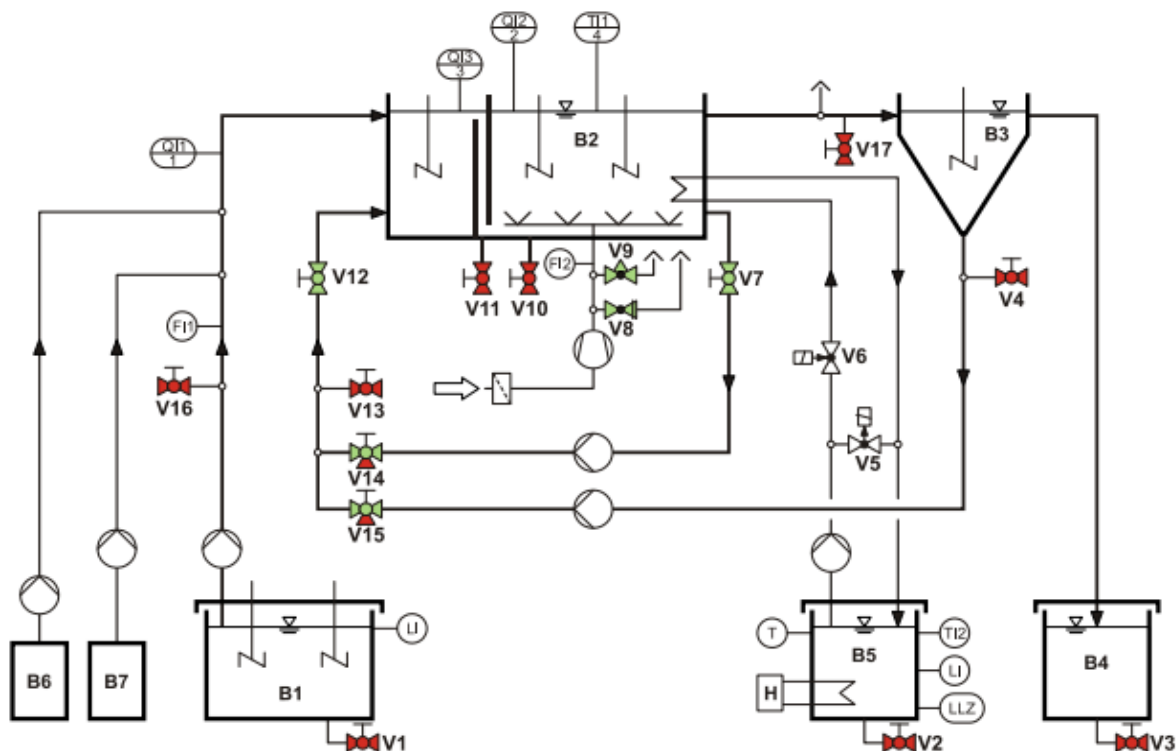
Dva reverzně zapojené elektromagnetické ventily V5 a V6 fungují jako akční členy. Pokud teplota v provzdušňovací nádrži (řídící proměnná) klesne pod referenční proměnnou, otevře se V6. Zároveň se zavře V5. Topná voda poté protéká provzdušňovací nádrží. Jakmile je dosaženo požadované teploty v provzdušňovací nádrži, V6 se zavře. Zároveň se otevře V5. Topná voda pak proudí přímo do zásobníku topné vody. [25]

## 6 PŘÍPRAVA EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY

Proces aktivovaného kalu je biologický, kontinuální proces. Aby bylo možné získat užitečné výsledky, měl by experiment trvat alespoň jeden týden. Pro delší trvání experimentu musí být zařízení kontrolováno také o víkendu. Na následujících řádcích budou doporučení a příkazy psané jako laboratorní návodka pro studenty, kteří by se ji mohli řídit ve cvičeních v laboratořích. [25]

### 6.1 Uvedení do provozu

- Zkontrolujte šroubová spojení a dotáhněte uvolněné šrouby.
- Vložte dvě přepážky do provzdušňovací nádrže.
- Připojte hydraulické a elektrické spojení mezi napájecí jednotkou a trenažérem
- Vyjměte pH senzor ze skladovací nádoby. Zajistěte, aby v něm obsažený roztok chloridu draselného neunikal.
- Vložte pH senzor do držáku. Poté čidlo elektricky připojte k řídicí jednotce
- Opatrně vyjměte senzory pro měření kyslíku ze skladovacího pouzdra.
- Namontujte měřicí články do dvou senzorů kyslíku. Poté umístěte příčné vzpěry, ve kterých jsou kyslíkové senzory integrovány, zpět do provzdušňovací nádrže.
- Připojte dva kyslíkové senzory (QI2 a QI3) a teplotní senzor (TI1) ke svorkovnici. Svorkovnice je umístěna na zadní straně provzdušňovací nádrže.
- Seříd'te všechny ventily podle **obr. č. 15**: Červenou barvou jsou označeny zavřené ventily a zelenou barvou ventily otevřené.
- Naplňte všechny nádrže vodou pomocí hadice z hlavního uzávěru vody v laboratoři.
- Připojte skříň rozvaděče k síťovému napájení.
- Zapněte zařízení hlavním vypínačem. Regulátor se automaticky spustí.
- Proveďte kalibraci pro následující snímače: pH senzor (QI1), kyslíkový senzor (QI2) a kyslíkový senzor (QI3). U teplotního senzoru (TI1) není nutná žádná kalibrace. Kalibrace se provádí pomocí měřicího převodníku uvnitř spínací skříňky. Kalibrace snímače je popsána v provozních příručkách příslušných výrobců.
- Po dokončení kalibrace QI2 a QI3 naplňte provzdušňovací nádrž vodou. [25]



Obrázek 15 Seřízení ventilů při uvedení do provozu [25]

## 6.2 Test funkcí

- Zkontrolujte všechny nádrže a potrubí, zda nedochází k únikům.
- Zapněte postupně čerpadla P1 až P3. Zkontrolujte, zda se otáčky čerpadel mění při otáčení příslušného potenciometru.
- Postupně zapněte všechny míchadla. Zkontrolujte, zda se otáčky míchadel mění při otáčení příslušného potenciometru.
- Zapněte kompresor (V). Zkontrolujte, zda je do provzdušňované oblasti provzdušňovací nádrže vháněn vzduch.
- Zapněte topení (H) a čerpadlo topné vody (P4). Otočným knoflíkem na ohřívači nastavte teplotu asi 30 ° C.
- Otevřete kryt nádrže na topnou vodu viz **obr. č. 16**. Krátce stiskněte spínač pro nedostatek vody (LLZ). [25]



**Obrázek 16 Spínač pro nedostatek vody [foto: Černý, 2021]**

- Zkontrolujte, zda se rozsvítí červená výstražná kontrolka na skříňovém rozvaděči. Topení a čerpadlo topné vody se musí vypnout.
- Zapněte znovu topení a čerpadlo topné vody. Otočným knoflíkem na ohřívači nastavte teplotu asi 50 ° C.
- Nastavte na regulátorech „automatický“ provozní stav.
- Pomocí voličů pro všechny tři ovladače nastavte „vnitřní“ provozní režim.
- Na regulátoru TIC nastavte referenční proměnnou, která je vyšší než naměřená teplota. Poznamenejte si teplotu vody zobrazenou na regulátoru (regulační proměnná). Zkontrolujte, zda se teplota vody zvyšuje.
- Zapněte dávkovací čerpadla (P5 a P6). Na ovladači QIC1 nastavte referenční proměnnou, která je vyšší než naměřená hodnota pH.
- Objem čerpadla P5 (kyselina) se musí pomalu vrátit na nulu. Současně se musí zvýšit objem čerpadla P6 (zásada).
- Na ovladači QIC1 nastavte referenční proměnnou, která je nižší než naměřená hodnota pH. Objem čerpadla P6 (zásada) se musí pomalu vrátit na nulu. Současně se musí zvýšit objem čerpadla P5 (kyselina).
- Zkontrolujte, zda jsou koncentrace kyslíku zobrazené na spínací skříni (QI2 a QI3) věrohodné. [25]

### 6.3 Kontrola softwaru

- Nainstalujte software na vhodný počítač
  - Připojte počítač a webovou kameru ke skřínce rozvaděče. K tomu použijte připojení USB na skříňovém rozvaděči.
  - Připojte webovou kameru na vhodné místo v zařízení.
  - Spusťte software.
  - K nastavení „externího“ provozního režimu použijte přepínací přepínače pro všechny tři ovladače.
  - Zadejte hodnoty referenčních proměnných (nastavené hodnoty) do bílých vstupních polí na procesním diagramu.
  - Sledujte, zda se řídicí proměnné (skutečné hodnoty) blíží referenčním proměnným.
  - Zkontrolujte, zda se snímek zachycený webovou kamerou zobrazuje v softwaru.
- [25]

### 6.4 Vyřazení z provozu

- Vypněte všechny součásti ve spínací skříni.
- Vypněte zařízení hlavním vypínačem.
- Odpojte skříň rozvaděče od síťového napájení.
- Odpojte hydraulické a elektrické spojení mezi napájecí jednotkou a reakční částí.
- Vyjměte obě přepážky z provzdušňovací nádrže.
- Vypusťte všechny nádrže a potrubí do odpadního potrubí v laboratoři.
- Vyjměte snímač pH z držáku a vložte jej zpět do skladovací nádoby.
- Odpojte dva kyslíkové senzory a teplotní senzor od svorkovnice.
- Vyjměte měřicí články ze senzorů kyslíku. Vložte měřicí cely zpět do úložného pouzdra. [25]

### 6.5 Péče a údržba

- Po vypnutí je doporučeno jednotku důkladně vyčistit a udržovat ji vždy čistou.
- K čištění jednotky nepoužívejte agresivní čisticí prostředky.



- K čištění jednotky nepoužívejte ethanol ani lihovinu (akryl není odolný vůči ethanolu).
- K čištění použijte vhodný čistič plastů.
- Používejte pouze měkké čisticí textilie, aby nedošlo k poškrábání akrylu.
- Jednotku a její součásti skladujte zakryté, na čistém, suchém a nemrznoucím místě. [25]

## 6.6 Nastavení provozních parametrů

1. Určete očekávané  $BSK_5$  odpadní vody.
2. Určete hodnotu pro zatížení kalu ( $B_X$ ).

Doporučené hodnoty:

- s nitrifikací  $B_X = 0,15 \text{ kg } BSK_5 / (\text{kg NL} \cdot \text{d})$
  - bez nitrifikace  $B_X = 0,30 \text{ kg } BSK_5 / (\text{kg NL} \cdot \text{d})$
3. Určete požadovanou koncentraci biomasy v provzdušňovací nádrži.

Doporučená hodnota:  $\rho_{NL_{AT}} = 3,0 \dots 4,0 \text{ g NL} / \text{l}$

4. Určete požadovaný průtok odpadní vody. v l / h

Zatížení kalu  $B_X$  v g  $BSK_5 / (\text{g NL} \cdot \text{d})$

Koncentrace  $\rho_{NL_{AT}}$  biomasy v provzdušňovací nádrži v g NL / l

$V_{AT}$  Objem provzdušňovací nádrže v litrech (cca 51 litrů)

$BSK_5$  Biochemická spotřeba kyslíku odpadní vody v g  $O_2 / \text{l}$

5. Určete vratné poměry vratného kalu a vnitřní recirkulaci ( $R_{RS}$  a  $R_{iR}$ ).

Doporučené hodnoty:

- $R_{RS} = 0,5 \dots 1,0$
  - $R_{iR} = 3 \dots 6$
6. Pomocí zpětných poměrů určete průtoky, které mají být nastaveny pro vratný kal a vnitřní recirkulaci ( $Q_{RS}$  a  $Q_{iR}$ )

$$Q_{RS} = R_{RS} \cdot Q_W$$

$$Q_{iR} = R_{iR} \cdot Q_W$$

7. Určete požadované stáří kalu  $\theta_x$ . Z preventivních důvodů zvyšte hodnotu přibližně o 25 %.
8. Zadejte kontrolní proměnné (nastavené hodnoty) pro regulační smyčky.

Doporučené hodnoty:

- hodnota pH 6 ... 8
- Kyslík 2 ... 4 mg O<sub>2</sub> / l
- Teplota 20 ... 30 ° C

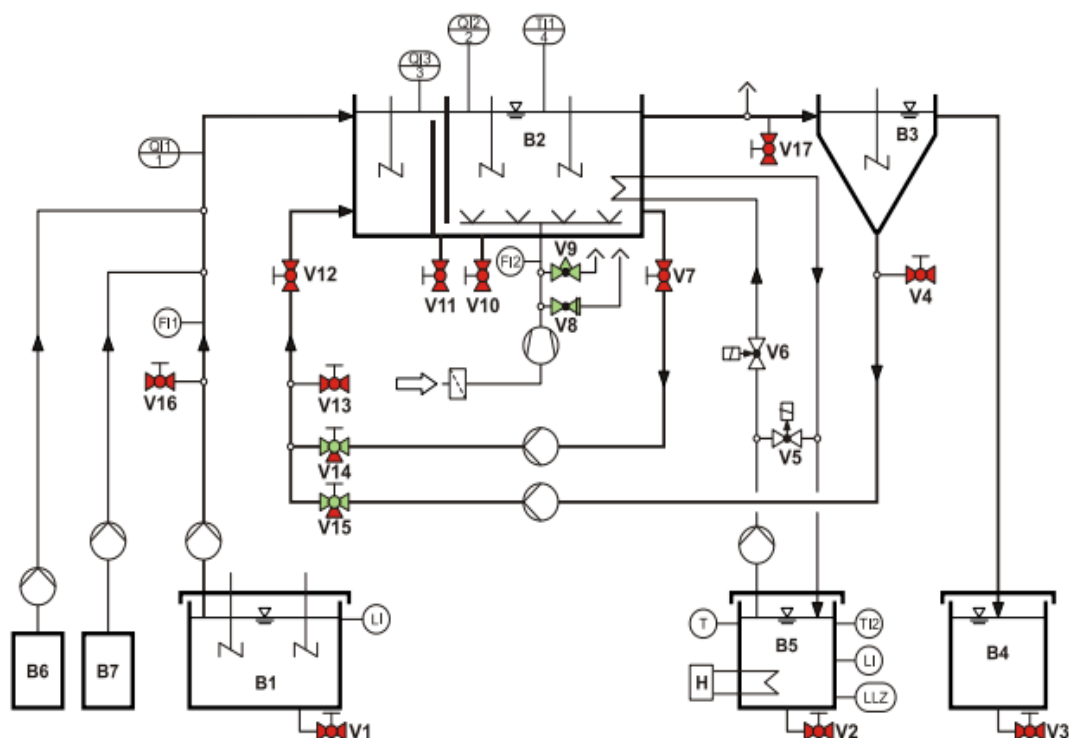
## 6.7 Příprava zařízení před experimentem

Před zahájením experimentů je nutné provést následující kroky:

1. Nejprve proved'te uvedení do provozu **podle kapitoly 6.1**
2. Naplňte nádrž B6 kyselinou a nádrž B7 zásadou. Hodnoty pH by se měly odchylovat od neutrální hodnoty pH (pH = 7,0) přibližně o stejné množství:
  - kyselina: např. 3,0
  - zásada: např. 11,0

Pro tento účel jsou ideální 1% hydroxid sodný (NaOH) a 1% kyselina chlorovodíková (HCl).

3. Uzavřete ventil V2 pod nádrží topné vody.
4. Naplňte zásobník topné vody kohoutkovou vodou. Ohřívač musí být zcela ve vodě.
5. Zapněte topení (H).
6. Seříd'te všechny ventily podle následujícího **obr. č. 17**. Červenou barvou jsou označeny zavřené ventily a zelenou barvou ventily otevřené. [25]



Obrázek 17 Seřízení ventilů před zahájením experimentu [25]

7. Naplňte nádrž na odpadní vodu B1 požadovaným množstvím vody z vodovodu.
8. Nalijte koncentrát umělé odpadní vody do nádrže na odpadní vodu B1 v poměru dle doporučení laborantek a cvičícího.
9. Zapněte míchací zařízení R1 a R2. Pomocí potenciometru nastavte nejvyšší možnou rychlost.
10. Jakmile je koncentrát umělé odpadní vody zcela rozmíchán ve vodě, můžete snížit rychlost míchadel.
11. Nalijte tolik aktivovaného kalu do provzdušňovací nádrže B2, abyste zhruba nastavili požadovanou koncentraci biomasy. Nalijte zbývající aktivovaný kal do usazovací nádrže B3.
12. Naplňte provzdušňovací nádrž umělou odpadní vodou.
13. Zapněte míchadla R3, R4 a R5. Upravte rychlost míchadel tak, aby se zabránilo usazování aktivovaného kalu.
14. Určete, zda mají být regulační smyčky provozovány s řídicí jednotkou nebo se softwarem.

- Provoz pomocí řídicí jednotky:

Přepnout přepínač na „interní“

- Provoz se softwarem:

Přepnout přepínač na „externí“

15. Nastavte "automatický" provozní stav na všech řadičích.

16. Upravte řídicí proměnné na řídicí jednotce (nebo v softwaru). [25]

### 6.7.1 Stanovení charakteristik čerpadla

Objemy oběhového čerpadla (P2) a vratného kalového čerpadla (P3) se stanoví objemovým měřením. Před zahájením experimentů proto doporučuji určit charakteristickou křivku pro každé čerpadlo. Charakteristická křivka ukazuje objem čerpadla jako funkci rychlosti. Křivky lze použít ke snadné změně průtoků zpětného odtoku kalu a vnitřní recirkulace během experimentů bez dalšího objemového měření.

Postup je popsán níže, přičemž jako příklad je použito oběhové čerpadlo (P2):

1. Umístěte odměrný válec pod volný konec ventilu V14.
2. Otevřete ventily V7 a V12.
3. Zapněte čerpadlo P2.
4. Pomocí potenciometru nejprve nastavte rychlost  $n = 0 \%$ .
5. Nastavte ventil V14 do polohy zobrazené na obr. 18. Současně stiskněte tlačítko START na stopkách.



Obrázek 18 Poloha ventilu V14- A [25]

6. Vraťte ventil V14 zpět do výchozí polohy zobrazené na obr. 19, jakmile je hladina v měřicím válci v horní části stupnice. Současně stiskněte tlačítko STOP na stopkách.



**Obrázek 19** Poloha ventilu V14- B [25]

7. Poznamenejte si zobrazený čas  $t$  a objem vody  $V$  v odměrném válci. Průtok  $Q$  získáte dělením objemu  $V$  časem  $t$ .
8. Opakujte **kroky 4 až 7** s vyššími rychlostmi. Zvyšte rychlost  $n$  o 10 % pokaždé.
9. Poté zadejte všechny páry hodnot pro  $n$  a  $Q$  do grafu.

## 6.8 BOZP

Při manipulaci v otevřené skříni rozvaděče hrozí nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

- Před otevřením vytáhněte zástrčku ze zásuvky.
- Veškeré práce smí provádět pouze vyškolený elektrikář.
- Chraňte skříň rozvaděče před vlhkostí.

Žíravé kyseliny a žíravé zásady – kontakt s kyselinou chlorovodíkovou nebo hydroxidem sodným poškozuje oči a pokožku.

- Noste ochranné rukavice a ochranné brýle
- V případě kontaktu s pokožkou omyjte velkým množstvím vody.
- V případě zasažení očí držte víčko otevřené a okamžitě je vypláchněte velkým množstvím vody. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc.
- Dodržujte bezpečnostní listy.

Některé látky pro výrobu umělé odpadní vody jsou zdraví škodlivé. Proto při manipulaci s nimi

- Noste ochranné rukavice.
- Noste ochranné brýle.

- Noste ochranný oděv.
- Dodržujte bezpečnostní listy.

Aktivovaný kal obsahuje bakterie, viry a vajíčka červů. Mohou vést k závažným onemocněním (např. tyfus, hepatitida a HIV).

- Zabraňte kontaktu pokožky s aktivovaným kalem.
- Noste ochranný oděv.
- Noste ochranné rukavice.
- Poté si umyjte a vydezinfikujte ruce.

Kyvety pro analýzu vody obsahují činidla, která jsou toxická nebo zdraví škodlivá.

- Noste ochranné rukavice.
- Noste ochranné brýle.
- Noste ochranný oděv.
- Dodržujte bezpečnostní listy.

Při manipulaci v nádobách vybavených míchadly může míchadlo způsobit zranění rukou.

- Vypněte míchací zařízení a počkejte, až se míchadla přestanou otáčet.

Kontakt s topnou spirálou může způsobit popáleniny.

- Dávejte pozor, abyste se nedotýkali topné spirály rukama. [25]

## 6.9 Postup experimentu

Proces aktivovaného kalu je biologický, kontinuální proces. Aby bylo možné získat užitečné výsledky, měl by experiment trvat alespoň jeden týden. Pro delší trvání experimentu je třeba se o zařízení starat také o víkendu.

1. Otevřete ventily V7 a V12
2. Zapněte následující součásti:
  - Čerpadlo odpadní vody (P1)
  - Oběhové čerpadlo (P2)
  - Čerpadlo vratného kalu (P3)
  - Kompresor (V)

- Míchadlo (R6)

Pokud je teplota řízena:

- Čerpadlo topné vody (P4)

Pokud je hodnota pH řízena:

- Dávkovací čerpadlo pro kyselinu (P5)
- Dávkovací čerpadlo pro zásadu (P6)

4. Pomocí potenciometru upravte otáčky čerpadel P1 až P3 tak, aby to vedlo k požadovaným průtokům.
5. Pomocí potenciometru míchadla R6 nastavte velmi nízké otáčky.
6. Určete následující parametry umělé odpadní vody vhodnými analytickými metodami – dle technologických návodů laboratoře Technologie vody Katedry environmentálního inženýrství:
  - $BSK_5$  a  $CHSK_{Cr}$
  - $N-NH_4^+$
  - $N-NO_3^-$
  - $P-PO_4^{3-}$
7. Asi 4 hodiny po zahájení experimentu odeberte vzorek aktivovaného kalu usazeného v sekundární usazovací nádrži. K tomu použijte ventil V4. Ventil otevírejte jen mírně. Z tohoto vzorku určete koncentraci sušiny kalu.
8. Asi 4 hodiny po zahájení experimentu odeberte každý jeden vzorek ze dvou oblastí provzdušňovací nádrže (N-nitrifikační a D-denitrifikační). Ze dvou vzorků určete koncentraci biomasy  $NL_{(N)}$  a  $NL_{(D)}$ . Ze dvou hodnot určete průměrnou koncentraci biomasy  $NL$ .
9. Pomocí zjištěného celkového obsahu pevných látek určete množství přebytečného kalu  $Q_{SL}$  v l / d, které se má denně odstraňovat, podle následující rovnice (vysvětlení viz kapitola 7. 2. 6.):

$$Q_{SL} = \frac{\rho NL_{AT} \cdot V_{aT}}{\rho NL_{SL} \cdot \theta_x}$$

10. Pokud je zařízení ponecháno bez dozoru po delší dobu (např. v noci nebo o víkendech), je třeba zabránit přetékání nádrže na vyčištěnou vodu. Proto na konci prvního dne experimentu připojte hadici k vypouštěcímu ventilu na nádrži s vyčištěnou vodou (V3). Druhý konec hadice vložte do odtoku vody v podlaze. Otevřete ventil V3.

## 6.10 Úkoly, které provázejí experiment

Během experimentů musí být následující parametry měřeny a zaznamenávány alespoň jednou denně.

1. Provozní parametry
  - Průtoky  $Q_W$ ,  $Q_{RS}$ ,  $Q_{iR}$  a  $Q_{SL}$  v l/h
  - Recirkulační poměry  $R_{RS}$  a  $R_{iR}$
  - Hodnota pH (QI1)
  - Koncentrace kyslíku (QI2, QI3) v mg/l
  - Teplota (TI1) v °C
2. Analýza vody (ukazatele v mg/l)
  - $BSK_5$  (dle potřeby),  $CHSK_{Cr}$
  - $N-NH_4^+$
  - $N-NO_3^-$
  - $P-PO_4^{3-}$
3. Celkový obsah nerozpuštěných látek (g NL/ l)
  - $\rho NL_{celk}$
  - $\rho NL_{AT(N)}$
  - $\rho NL_{AT(D)}$

$$\rho NL_{AT} = \frac{\rho NL_{AT(N)} + \rho NL_{AT(D)}}{2}$$

4. Pravidelně kontrolujte hladinu vody ve všech nádržích. Podle potřeby doplňte nádrže.



## 7 OPTIMALIZACE NASTAVENÝCH PARAMETRŮ VÝUKOVÉHO MODULU

Existuje řada faktorů ovlivňujících účinnost a průběh aktivačního procesu. Mezi hlavní faktory spadá složení odpadní vody a technologické parametry aktivačního procesu. Mezi základní parametry patří nastavené hodnoty pH a teploty. Pro zvýšení účinnosti čistících mikrobiologických procesů doporučuji nastavení teploty 23 °C jako referenční hodnotu regulační smyčky teploty v aktivační nádrži. Referenční hodnota pH by měla být nastavena na neutrální pH 7.

### 7.1 Použitá odpadní voda

Pro experimenty doporučuji použít uměle vytvořenou odpadní vodu. Tímto způsobem lze dosáhnout stejného složení odpadní vody pro všechny experimenty, což usnadňuje porovnání jednotlivých experimentů.

Nejjednodušší možností je použití jednosložkového substrátu, například glukózy. Pokud provádíme pouze experiment snížení BSK a CHSK odpadní vody, postačí nám glukóza jako zdroj organického uhlíku v umělé odpadní vodě. Pokud se jako zdroj uhlíku použije látka se známým chemickým vzorcem, lze CHSK umělé odpadní vody odhadnout výpočtem před experimenty. Toto je ukázáno níže na příkladu glukózy.

#### 1. Stanoví se molární hmotnost

Molární hmotnost molekuly se získá součtem relativních atomových hmotností všech atomů obsažených v molekule.

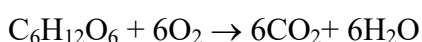
Glukóza  $C_6H_{12}O_6$

Určíme atomové relativní hmotnosti a výslednou molární hmotnost

$$M(C_6H_{12}O_6) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180 \text{ g/mol}$$

#### 2. Reakční rovnice

Oxidaci glukózy lze vyjádřit následující reakční rovnicí:



Výpočet CHSK

Podle reakční rovnice je k oxidaci 1 molu glukózy zapotřebí 6 molů kyslíku. CHSK roztoku glukózy s koncentrací  $c = 0,3 \text{ g/l}$  se vypočítá následovně:

$$CHSK = \frac{x \cdot M(O_2)}{x \cdot M(C_6H_{12}O_6/mol)} \cdot c$$

$$CHSK = \frac{6 \cdot 32 \text{ g } O_2/mol}{1 \cdot 180 \text{ g } C_6H_{12}O_6/mol} \cdot c$$

$$CHSK = \frac{192 \text{ g } O_2/mol}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6/mol} \cdot 0,3 \text{ g } C_6H_{12}O_6/l$$

$$CHSK = 0,32 \text{ g } O_2/l = 320 \text{ mg } O_2/l$$

V případě že cílem experimentu je kromě účinnosti odstranění BSK a CHSK také účinnost odstranění dusíku a fosforu, jednosložkový substrát pouze se zdrojem uhlíku nebude stačit. Abychom mohli demonstrovat proces nitrifikace, denitrifikace a proces biologického odstraňování fosforu musíme upravit složení umělé odpadní vody tak, aby co nejlépe odpovídalo složení splaškových odpadních vod nebo tak, aby umělá odpadní voda obsahovala nejen zdroj uhlíku, ale také dusíku a fosforu.

Pro tento účel můžeme použít následující složení:

- 16 g peptonu,
- 11 g masového extraktu,
- 3 g močoviny,
- 0,7 g chloridu sodného,
- 0,4 g dihydrátu chloridu vápenatého,
- 0,2 g heptahydrátu síranu hořečnatého,
- 2,8 g hydrogen fosforečnanu draselného,
- Dolít destilovanou vodou do 1 litru. [27]

Pepton spolu s masovým extraktem je potřeba rozpustit zvlášť, pak se přilije k zbývajícím rozpuštěným komponentům. Koncentrát umělé odpadní vody (viz obr. č. 20) lze skladovat v temnu a v lednici maximálně 5 dnů. Z takto připraveného koncentráту umělé odpadní vody připravíme 100 litrů umělé odpadní vody (1 litr koncentráту odpadní vody na 99 litrů vodovodní vody).



**Obrázek 20** Koncentrát umělé odpadní vody [foto: Černý, 2021]

Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v umělých odpadních vodách je podstatně nižší než empirické hodnoty splaškových odpadních vod. Aby mohla nitrifikace proběhnout, je v aktivovaném kalu zapotřebí dostatečné množství nitrifikačních bakterií. Pro tento účel je opět zapotřebí dostatečný přísun amoniaku ( $\text{NH}_4^+$ ). Proto je vhodné zvýšit koncentraci amoniaku v umělé odpadní vodě. Za tímto účelem musí být zvýšena koncentrace peptonu v umělé odpadní vodě. Je třeba poznamenat, že to také zvýší  $\text{BSK}_5$  a  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  odpadní vody. Pokud zvýšíme koncentraci peptonu o 100 mg/l, zvýší se koncentrace  $\text{N-NH}_4^+$  přibližně o 3 mg/l. Současně se zvýší  $\text{BSK}_5$  a  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  přibližně o 120 mg/l. [25]

Při pokusech lze v zásadě použít jiné látky a koncentrace. Například glukóza může být také použita jako zdroj uhlíku. Jako alternativní zdroje dusíku lze také považovat různé amonné soli.

## 7.2 Aktivovaný kal

Aktivovaný kal obsahuje mnoho malých částic, jako jsou zrna písku a jiné pevné nerozpustné látky. Tyto částice mohou způsobit ucpání čerpadel a potrubí. Aby se zabránilo tomuto ucpávání, je třeba aktivovaný kal před nalitím do zařízení vyčistit. K tomuto účelu jsou vhodná laboratorní síta. Velikost ok síta by měla být mezi 0,5 a 1 mm. Pokud nejsou k dispozici žádná laboratorní síta, lze použít i běžné sítko pro domácnost.

Pokud byl aktivovaný kal získán více než jeden den před zahájením experimentu, musí být v této době zásoben dostatečným množstvím organické hmoty a kyslíku.

Například aktivovaný kal může být smíchán nějakým množstvím umělé odpadní vodou v provzdušněné oblasti aktivační nádrže. Poté zapnete kompresor V a míchací zařízení R4 a R5.

### 7.2.1 Kultivace aktivovaného kalu

Při kultivaci aktivovaného kalu či při jeho použití v aktivační nádrži mohou nastat některé situace, které komplikují či snižují účinnost čištění. Při vzniku neflokulujícího kalu se tvoří špatně usaditelné vločky, což vede k tomu, že voda odtékající z dosazovací nádrže je značně zakalená a znečištěná.

Tato situace vzniká v případě, že je zatížení aktivovaného kalu vysoké a jeho stáří malé. v tomto případě tvoří část aktivovaného kalu disperzi. K minimalizaci disperzního růstu mikroorganismů by stáří kalu nemělo být menší než tři dny. Dalšími důvody nedostatečné flokulace aktivovaného kalu mohou být náhlé změny technologických parametrů aktivace, a to zejména teploty, pH, nedostatek některých biogenních prvků nebo například přítomnost látek pro mikroorganismy toxických. Systém dokáže sám regulovat pH nebo teplotu v aktivační nádrži za pomoci regulačních smyček, ale abychom se vyvarovali velkým změnám jednotlivých veličin, musíme je taktéž sledovat u použité odpadní vody. [21, 28]

Dalším možným jevem je bytnění aktivovaného kalu. Bytnění aktivovaného kalu se projevuje zhoršenou schopností sedimentace vloček aktivovaného kalu. Tento jev nemusí být na první pohled viditelný, jeho přítomnost lze určit měřením kalového indexu. Pokud je hodnota kalového indexu řádově vyšší než 200 ml/g, jedná se o kal zbytnělý. Bytnění kalu můžeme rozdělit na nevláknité a vláknité. Nevláknité bytnění bývá méně častým případem a jeho původ není zcela znám. Vláknité bytnění je způsobeno nadměrným růstem vláknitých mikroorganismů. Jsou to mikroorganismy pomalu rostoucí. Abychom zamezili nepřiměřenému růstu vláknitých mikroorganismů, měli bychom se vyvarovat vysokému obsahu sacharidů a sulfidů, a naopak nedostatku dusíku a fosforu v čištěné odpadní vodě. Prerůstání vláknitých mikroorganismů by mělo být také zabráněno minimální koncentrací kyslíku v aktivační nádrži 2 mg/l. Závislost maximální růstové rychlosti na koncentraci substrátu ukazuje, že při nízkých koncentracích substrátu rostou rychleji pomalu rostoucí mikroorganismy nežli mikroorganismy rychle rostoucí. Je tedy žádoucí udržovat vysokou koncentraci substrátu v přítokové části aktivační nádrže. [21, 25]

Jako kontrola či způsob určení sedimentačních vlastností aktivovaného kalu slouží takzvaný kalový index. Kalový index KI udává objem usazeného kalu v 1000 ml odměrném válci po 30 minutách. Kalový index KI tedy udává objem 1 gramu sušiny kalu po 30 minutách. Čím nižší je KI, tím lepší je usazovací schopnost aktivovaného kalu. Aktivovaný kal s kalovým indexem menším než 100 ml/g je nazýván normální. Aktivovaný kal s KI v rozmezí 100 až 200 ml/g je nazýván lehký. Při hodnotách nad 200 ml/g NL označujeme kal zbytnělý. Objemový kal se skládá hlavně z vláknitých bakterií a špatně sedimentů. [21, 28]

Kalový index je definován:

$$KI = \frac{V_{30}}{\rho(NL)} \quad \text{v ml/g pevné látky}$$

$V_{30}$  objem aktivovaného kalu po 30 minutách sedimentace v ml

$NL_{AT}$  Celkový obsah nerozpuštěných látek v aktivační nádrži v g NL látek na litr

### 7.2.2 Zatížení kalu

Zatížení kalu  $B_x$  vyjadřuje vztah mezi zatížením  $BSK_5$  a biomasou přítomnou v provzdušňovací nádrži. Je definováno jako hmotnostní množství organických látek přivedeného na 1 kg celkové nebo organické sušiny kalu za 1 den.  $B_x$  je důležitý konstrukční parametr pro proces aktivovaného kalu. [21, 25]

$$B_x = \frac{24 \cdot Q_1 \cdot C_1}{VX} = \frac{24 \cdot C_1}{\theta X} = \frac{B_v}{X}$$

$Q_1$  průtok odpadní vody v l/h

$C_1$  koncentrace odpadní vody vyjádřena v BSK v mg/l

$V$  objem aktivační nádrže v litrech

$X$  koncentrace biomasy aktivovaného kalu

$\theta$  doba zdržení ve dnech

Dle zatížení kalu rozlišujeme aktivační systémy na nízko zatížené, středně zatížené a vysoce zatížené. Pro využití laboratorního modulu aktivace s funkční nitrifikací a denitrifikací doporučuji nastavení podmínek spodní hranice nízko zatížené aktivace. Hodnoty zatížení kalu by v takto nastaveném systému měly být 0,15 kg BSK na kilogram sušiny kalu za den. Pokud chceme aktivační proces použít pro pouhé snižování koncentrace BSK a CHSK můžeme zvýšit zatížení kalu na hodnotu 0,3 kg BSK na kilogram sušiny kalu za den. [21, 25, 29]

### 7.2.3 Koncentrace biomasy

Koncentrace biomasy je měřítkem množství mikroorganismů obsažených v médiu. Celkový obsah pevných látek NL se používá ke stanovení koncentrace biomasy. Celkový obsah pevných látek udává hmotnost pevné látky (biomasy), která je obsažena v jednom litru vzorku po filtraci a sušení. [21, 25]

$$\rho NL_{celk} = \frac{\rho NL_A + \rho NL_D}{2}$$

$\rho NL_{celk}$  průměrná hodnota koncentrace sušiny kalu v g v jednom litru vzorku

$\rho NL_A$  koncentrace sušiny kalu z provzdušňované části aktivační nádrže

$\rho NL_D$  koncentrace sušiny kalu z neprovzdušňované části aktivační nádrže

### 7.2.4 Poměr vratného kalu

Poměr vratného kalu  $R_{RS}$  udává, kolik vratného kalu je přiváděno zpět do provzdušňovací nádrže ve vztahu k průtoku odpadní vody. [21, 25]

$$R_{RS} = \frac{Q_{RS}}{Q_w}$$

$R_{RS}$  Poměr vratného kalu je bezrozměrná veličina

$Q_{RS}$  Průtok vratného kalu v l/h

$Q_w$  Průtok odpadní vody v l/h

Do provzdušňovací nádrže se vždy vrací stejné množství vratného kalu, jaké bylo dříve odebráno ze sekundárního usazování. Pokud vezmeme provzdušňovací nádrž a

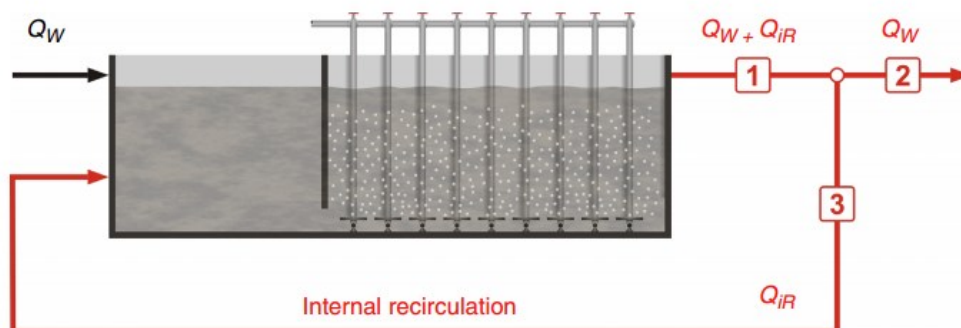
sekundární usazovací nádrž jako jeden celý systém, zpětný kal představuje vnitřní okruh. Proto je průtok zpětného kalu pro rovnováhu celého systému irelevantní. Poměr vratného kalu může být následně mnohem vyšší než  $Q_W$ . Poměr vratného kalu je obvykle řádově 0,5 až 1,0. [21, 28, 29]

### 7.2.5 Poměr vnitřní recirkulace kalu

Čím vyšší je průtok vnitřní recirkulace  $Q_{iR}$ , tím méně dusičnanů vstupuje do sekundárního usazovací nádrže. Během tohoto procesu existuje následující vztah mezi průtokem odpadní vody  $Q_W$  a průtokem vnitřní recirkulací  $Q_{iR}$  (viz obr. č. 19):

$$Q_{iR} = R_{iR} \cdot Q_W$$

Účinnost predenitrifikace naznačuje, jaké procento dusičnanu se vrací vnitřní recirkulací. Čím vyšší je recirkulační poměr, tím více dusičnanů se vrací z provzdušněné části provzdušňovací nádrže do denitrifikační zóny. Výsledkem je, že se účinnost zvyšuje s rostoucím poměrem recirkulace (viz obr. č 22). V provzdušněné části aktivační nádrže dochází vlivem nitrifikace k produkci dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ). [21, 25, 29]



Obrázek 21 Schéma vnitřní recirkulace [25]

Zatížení ( $\text{NO}_3^-$ ) v průtocích 1,2,3 viz Obr. 21

- $B_{\text{NO}_3^-}(1) = c_{\text{NO}_3^-} \cdot (Q_W + Q_{iR})$
- $B_{\text{NO}_3^-}(2) = c_{\text{NO}_3^-} \cdot Q_W$
- $B_{\text{NO}_3^-}(3) = c_{\text{NO}_3^-} \cdot Q_{iR}$

$c_{\text{NO}_3^-}$  koncentrace dusičnanů v provzdušňované části aktivační nádrže v mg/l

$Q_W$  průtok odpadní vody

$Q_{iR}$  Průtok vnitřní recirkulace

Z toho plyne, že účinnost predenitrifikace je rovna

$$\eta = \frac{B_{NO_3^-}(3)}{B_{NO_3^-}(1)} = \frac{c_{NO_3^-} \cdot Q_{iR}}{c_{NO_3^-} \cdot (Q_w + Q_{iR})}$$

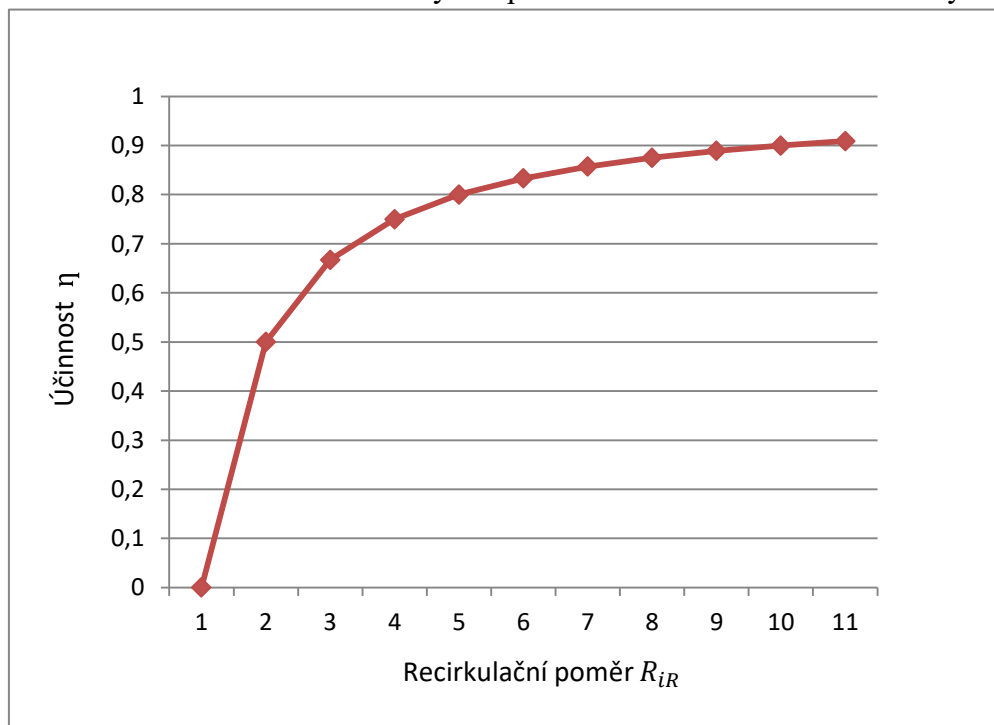
$$\eta = \frac{Q_{iR}}{Q_w + Q_{iR}}$$

$$\eta = \frac{R_{iR}}{1 + R_{iR}}$$

$\eta$  účinnost predenitrifikace (bezrozměrná veličina)

$R_{iR}$  recirkulační poměr (bezrozměrná veličina)

Odpadní voda recirkulována do denitrifikační zóny obsahuje dostatečné množství dusičnanů, ale pouze malé množství organické hmoty. Pokud jde o BSK<sub>5</sub>, vnitřní recirkulace v denitrifikační zóně vede k ředění odpadních vod. Dostatečně vysoký BSK<sub>5</sub> je předpokladem pro efektivní denitrifikaci. Při velmi vysokých návratových poměrech to může vést k významnému snížení výkonu a účinnosti denitrifikace. Jakékoli další zvýšení poměru recirkulace tak nedává smysl. [25]



Obrázek 22 Graf závislosti účinnosti na recirkulačním poměru [25]



Z grafu můžeme vidět, že účinnost prudce stoupá až do recirkulačního poměru 3,0. Při recirkulačním poměru 6,0 se účinnost již příliš nezvyšuje.

Velikost recirkulačního je závislá na průtoku, tudíž je i limitována výkonem použitých čerpadel.

### 7.2.6 Stáří kalu

Stáří kalu  $\theta_x$  udává počet dní, po které aktivovaný kal v průměru zůstane v procesu, než bude vypuštěn jako přebytečný kal.

$$\theta_x = \frac{\rho(NL) \cdot V_{AT}}{[\rho(NL)_2 \cdot (Q_1 - Q_w)]}$$

$\theta_x$  Stáří kalu ve dnech

$V_{AT}$  Objem aktivační nádrže v litrech

$\rho(NL)$  Koncentrace nerozpuštěných látek aktivovaného kalu v g/l

$Q_1$  Průtok odpadní vody v l/h

$Q_w$  Průtok přebytečného kalu v l/h

Potřebné stáří kalu pro průběh nitrifikace a denitrifikace lze odhadnout podle následující tabulky č. 7.

**Tabulka 7 Požadované stáří kalu [25]**

Poměr objemu denitrifikační části aktivační nádrže k celkovému objemu nádrže	Stáří kalu ve dnech
$V_{AT(D)}/V_{AT} = 0,2$	10,3 .... 12,5
$V_{AT(D)}/V_{AT} = 0,3$	11,7 .... 14,3
$V_{AT(D)}/V_{AT} = 0,4$	13,7 .... 16,7
$V_{AT(D)}/V_{AT} = 0,5$	16,4 .... 20

$V_{AT}$  zahrnuje objem nádrže pro nitrifikační část  $AT_{(N)}$  a objem nádrže pro denitrifikační část nádrže  $AT_{(D)}$ . Objemový poměr modulu  $V_{AT(D)}/V_{AT}$  je 0,33 z uvedené tabulky vyplývá, že doporučené stáří kalu pro modul je 13 dní.

Nízké stáří kalu v případě kdy nám jde o funkčnost denitrifikace je nežádoucí, jelikož se nám ze systému dostávají ven přebytečným kalem pomalu rostoucí mikroorganismy, které jsou nezbytné pro správný průběh nitrifikace a denitrifikace.

Existují dvě hodnoty stáří kalu, které jsou významné. Jde o tzv. minimální stáří kalu a kritické stáří kalu. Při minimálním stáří kalu, jsou mikroorganismy schopné odstranit určitou látku, vyplaveny ze systému aktivace příliš rychle. Pokud se stáří kalu pohybuje pod kritickou hodnotou, je rychlost odstraňování dané látky nižší než rychlost jejího přivádění do systému. Systém aktivace, ve kterém se stáří kalu pohybuje nad kritickou hodnotou je odolnější vůči nárazovému zatížení danou látkou a je do jisté míry schopen se s ní vyrovnat. Z těchto důvodů doporučuji zvolenou hodnotu stáří kalu navýšit od 25 %. Experimenty zmíněné v literatuře ukazují, že v některých případech kdy bylo stáří kalu 1, až 1,5 byly na odtoku naměřeny nižší hodnoty BSK a NL. [21, 25, 29]

Množství vypouštěného přebytečného kalu má významný vliv na stáří kalu. Čím více přebytečného kalu je odstraněno, tím nižší je stáří kalu. Pokud převedeme rovnici pro  $\theta_x$  na  $Q_{SL}$ , lze denní množství přebytečného kalu, který má být vypuštěn, vypočítat takto:

$$Q_{SL} = \frac{NL_{AT} \cdot V_{AT}}{NL_{SL} \cdot \theta_x}$$

$Q_{SL}$  Průtok přebytečného kalu

$NL_{AT}$  Obsah nerozpuštěných látek v aktivační nádrži

$V_{AT}$  Objem aktivační nádrže v litrech

### 7.3 Výpočet parametrů

1. Analýzou odpadní vody určete její BSK<sub>5</sub>

$$BSK = 0,3 \text{ g O}_2 / \text{l}$$

2. Z teoretických poznatků a zvoleného typu laboratorní úlohy určete požadované zatížení kalu.

$$B_X = 0,15 \text{ kg BSK}_5 / (\text{kg NL} \cdot \text{d})$$

3. Proved'te analýzu koncentrace biomasy aktivovaného kalu v aktivační nádrži

$$\rho(NL) = 4,0 \text{ g NL/l}$$

4. Pomocí předešlých parametrů určete výpočtem průtok odpadní vody do aktivační nádrže.

$$Q_W = \frac{B_X \cdot NL_{AT} \cdot V_{AT}}{BSK_5}$$

$$Q_W = \frac{0,15 \text{ g BSK/gNL} \cdot 4 \text{ g/l} \cdot 51 \text{ l}}{0,3 \text{ g O}_2/\text{l}}$$

$$Q_W = 102 \text{ l/d}$$

$$Q_W = 4,25 \text{ l/h}$$

5. Určete vratné poměry vratného kalu a vnitřní recirkulaci ( $R_{RS}$  a  $R_{iR}$ )

$$R_{RS} = 1,0 \quad R_{iR} = 4,0$$

6. Pomocí zpětných poměrů určete průtoky, které mají být nastaveny pro vratný kal a vnitřní recirkulaci ( $Q_{RS}$  a  $Q_{iR}$ )

$$Q_{RS} = R_{RS} \cdot Q_W$$

$$Q_{RS} = 1,0 \cdot 4,25 \text{ l/h}$$

$$Q_{RS} = 4,25 \text{ l/h}$$

$$Q_{iR} = R_{iR} \cdot Q_W$$

$$Q_{iR} = 4,0 \cdot 4,25 \text{ l/h}$$

$$Q_{iR} = 17,0 \text{ l/h}$$

7. Určete požadované stáří kalu  $\theta_x$  podle tab. 10. Z bezpečnostních důvodů zvyšte hodnotu přibližně o 25 %.

$$V_{AT(D)} = 17 \text{ l} \quad V_{AT} = 51 \text{ l}$$

$$V_{AT(D)}/V_{AT} = 0,33$$

Požadované stáří kalu z tabulky č. 7:  $\theta_x = 13 \text{ d}$

Bezpečné rozmezí + (25 %):

$$\theta_x = 13 \text{ d} \cdot 1,25 \quad \theta_x = 16,25 \text{ d}$$

## 8 ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY

Před zahájením experimentu by mělo být rozhodnuto, zda bude úkolem studentů pouze analýza odpadní vody před experimentem a následně analýza vyčištěné odpadní vody na konci experimentu. Výsledkem a závěrem takového experimentu bude vyhodnocení účinnosti čištění odpadní vody procesy aktivace a dosazování. Takto postavený experiment by měl dotaci osmi laboratorních hodin.

Další možností je rozdělení experimentu na přípravu před experimentem, s tím souvisí příprava umělé odpadní vody, kultivace aktivovaného kalu a výpočet charakteristik čerpadel. Při úspěšné kultivaci a dosažení požadované koncentrace biomasy aktivovaného kalu by bylo možné zahájit experiment a postupovat stejně jako u prvního příkladu.

V případě, kdy zvolíme umělou odpadní vodu, ve které je pro mikroorganismy aktivovaného kalu k dispozici pouze zdroj uhlíku, je experiment zkrácen o analýzy koncentrace  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$  a je tudíž zaměřen pouze na účinnost snížení koncentrace BSK a CHSK.

V opačném případě, kdy je použita umělá odpadní voda se složením, které je svými koncentracemi BSK, CHSK,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$  co nejautentičtější se splaškovou odpadní vodou (viz. kapitola 7.1) je provedena analýza všech parametrů.

Modul nastavený podle parametrů uvedených v předchozí kapitole má spotřeba 4,25 litrů odpadní vody za hodinu a zároveň na odtoku vzniká hodinově 4,25 l vyčištěné odpadní vody. Při kontinuálním procesu musí být do zásobní části každý den přivedeno 100 litrů odpadní vody. Zásobní nádrž s objemem 80 litrů se naplní za 18 hodin a 50 minut. Vyčištěnou odpadní vodu je tudíž nutné kontinuálně odvádět. Je potřeba, aby pak obsluha docházela i ve dnech pracovního volna při experimentech, které se naplánují od 7 dnů a výše.

## 9 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo navrhnout experimentální úlohu pro modul GUNT-ČOV a optimalizovat parametry čistírenského procesu aktivace.

Experimentální úloha byla navržena jako série úloh s použitím analytických metod, jimiž je stanoveno složení odpadní vody na přítoku a vyčištěné odpadní vody na konci experimentu, následně je vyhodnocena účinnost čištění odpadní vody. Součástí experimentu je rovněž analýza aktivovaného kalu a výpočet parametrů aktivace.

Doporučuji použití uměle připravené odpadní vody pro všechny laboratorní experimenty. Díky konstantnímu složení uměle vytvořené odpadní vody se nabízí možnost srovnání jednotlivých experimentů. Pro proces snižování BSK a CHSK lze použít roztok vody a glukózy, která slouží jako zdroj uhlíku pro mikroorganismy aktivovaného kalu. V případě využití modulu také pro nitrifikaci a denitrifikaci je nutné vytvořit umělou odpadní vodu obsahující dostatečné koncentrace  $BSK_5$ ,  $CHSK_{Cr}$ ,  $N-NH_4^+$  a  $P-PO_4^{3-}$ . Pro tento účel byl vytvořen koncentrát odpadní vody z 16 g peptonu, 11 g masového extraktu, 3 g močoviny, 0,7 g chloridu sodného, 0,4 g dihydrátu chloridu vápenatého, 0,2 g heptahydrátu síranu hořečnatého a 2,8 g hydrogen fosforečnanu draselného. Koncentrát umělé odpadní vody byl poté smíchán s 99 litry vodovodní vody. Takto připravená umělá odpadní vody má koncentraci:  $BSK_5$  329,86 mg/l,  $CHSK_{Cr}$  394,34 mg/l,  $N-NH_4^+$  2,99 mg/l a  $P-PO_4^{3-}$  6,65 mg/l.

Pro zvýšení účinnosti čistících mikrobiologických procesů doporučuji nastavení teploty 23 °C jako referenční hodnotu regulační smyčky teploty v aktivační nádrži. Referenční hodnota pH by měla být nastavena na pH 7 a Nastavená koncentrace  $O_2$  by měla být 3 mg/l. Pro nastavení podmínek pro nitrifikaci a denitrifikaci doporučuji systém nízkozatížené aktivace se zatížením aktivovaného kalu 0,15 kg BSK na kilogram sušiny kalu za den. Doporučená hodnota zatížení kalu procesu aktivace nastavené pouze pro snižování koncentrace BSK a CHSK je 0,3 kg BSK na kilogram sušiny kalu za den. Aby byla udržena dostatečná koncentrace biomasy, byl poměr vratného kalu  $R_{RS}=1$ . Hodnota Poměru vnitřní recirkulace  $R_{iR}$  byla 4 čímž je zvýšena účinnost predenitrifikace. Stáří kalu v takto nastaveném aktivačním systému bylo určeno  $\theta_x = 13$  d z preventivních důvodů byla tato hodnota zvýšena o 25 % na 16,25 dní. Určená hodnota stáří kalu je použita pro výpočet odebíraného průtoku přebytečného kalu.

Modul GUNT-ČOV je kromě laboratorních úloh sloužících pro doplnění teoretických znalostí studentů ve cvičeních, vhodný pro individuální experimenty, jak pro další diplomové práce tak výzkumnou činnost. Díky možnosti měnit jednotlivé parametry aktivace, dosazování a složení odpadní vody lze odvodit velká řada experimentů týkajících se například závislosti účinnosti čištění na jednotlivých parametrech nebo vliv toxicity či jiných inhibujících faktorů na aktivovaný kal.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČR. Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: Sbírka zákonů. 98/2001.
2. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3., přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-030-0525-6.
3. KABELKOVÁ, Ivana. *Městské odpadní vody: od čištění k získávání zdrojů: Municipal wastewater: from treatment to resource recovery*. V Praze: České vysoké učení technické, [2018]. ISBN isbn978-80-01-06419-1.
4. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN isbn80-860-2030-4.
5. MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN isbn80-860-2050-9.
6. Lapák šterku. *Ekoprogres [online]*. Hranice I – Město: Ekoprogress [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.ekoprogres.cz/soubor/lapak-sterku/>
7. SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí I: úprava a čištění vody*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN isbn978-80-01-05390-4.
8. *Drapák šterku [online]*. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.papay.sk/drapak-strku.html>
9. PECHÁČEK, Jiří. *Čištění odpadních vod. Katedra energetických strojů a zařízení [online]*. Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/16\\_Chemie-a-ekologie\\_43-44/44\\_MMP/081\\_cistení-odpadních-vod---Pechacek.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/16_Chemie-a-ekologie_43-44/44_MMP/081_cistení-odpadních-vod---Pechacek.pdf)

10. *Reliable Mechanical Wastewater Bar Screen for drainage pumping plant* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.industrial-wastewatertreatment.com/sale-4350596-reliable-mechanical-wastewater-bar-screen-for-drainage-pumping-plant.html>
11. DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER, 1995. *Čištění odpadních vod. Vyd. 1. (dot.). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-708-0207-3.*
12. REŠETKA, Dušan. *Stokování a čištění odpadních vod II. Čištění odpadních vod. 3. vyd. Brno: VUT Brno, 1990. ISBN isbn80-214-0168-0.*
13. *Dvoukomorový provzdušňovaný lapák písku, In: GFŽ* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [http://www.gym-bohumin.cz/predmet/ch/cisticka/1/model\\_cov/html/lapak\\_pisku\\_f.html](http://www.gym-bohumin.cz/predmet/ch/cisticka/1/model_cov/html/lapak_pisku_f.html)
14. KYNCL, Miroslav. *Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů: monografie. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-1604-3.*
15. HERLE, Jaromír a Pavel BAREŠ. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990.*
16. Usazovací nádrž. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: [https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Usazovac%C3%AD\\_n%C3%A1dr%C5%B5.JPG](https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Usazovac%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%B5.JPG)
17. SPELLMAN, Frank R. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations* [online]. 4. Taylor & Francis Group, 2020 [cit. 2020-11-25]. ISBN 9781000063189. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/vsbto-ebooks/reader.action?docID=6202024>
18. MITTAL, Arun, 2011. *Biological Wastewater Treatment. Water today. 2011, 32-33.*
19. CHUDOBA, Jan, Jiří WANNER a Michal DOHÁNYOS. *Biologické čištění odpadních vod: vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemicko-technologické. Praha: SNTL, 1991. Ochrana životního prostředí. ISBN isbn80-03-00611-2.*



20. WANNER, Jiří. Aktivační proces s jemnobublinnou aerací. *Vodní hospodářství* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/cistení-odpadních-vod-cr/>
21. TUČEK, Ferdinand, Zdeněk KONÍČEK a Jan CHUDOBA. *Základní procesy a výpočty v technologii vody: celostátní vysokoškolská příručka pro studenty vysokých škol chemickotechnologických studijního oboru 28-05-8 technologie vody*. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
22. SOJKA, Jan. *Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy*. Praha: Grada Publishing, 2013. Profi & Hobby. ISBN 978-80-247-4504-6.
23. PYTL, Vladimír. *Příručka pro provozovatele čistírny odpadních vod*. Líbeznice u Prahy: Medim, 2004. ISBN isbn80-239-2528-8.
24. *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.: Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*. In: *Sbírka zákonů*. 166/2015.
25. KELLOW, Manuel. *Experiment instructions: CE 705 Activated Sludge Process*.
26. What is a Control Loop and How do I Set it Up? *Watlow* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.watlow.com/blog/posts/setting-up-a-control-loop>
27. USA. *OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS: Proposal for a revised Guideline 209 Inhibition of respiration of activated sludge (carbon and/or ammonium oxidation)*. In: . OECD, 2009. Dostupné také z: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/43735667.pdf>
28. SOJKA, Jan. *Malé čistírny odpadních vod*. 2. aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2004. Stavíme. ISBN isbn80-86517-80-2.
29. ŠVEHLA, Pavel, Pavel TLUSTOŠ a Jiří BALÍK. *Odpadní vody*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Česká zemědělská univerzita, katedra agrochemie a výživy rostlin, 2007. ISBN isbn978-80-213-1716-1.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AT- Activation tank

BOZP- Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

BSK – Biochemická spotřeba kyslíku

BSK<sub>5</sub> – Biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

ČOV – Čistírna odpadních vod

EO – ekvivalentní obyvatel

N<sub>celk</sub> – Celkový dusík

NL – Nerozpuštěné látky

P<sub>celk</sub> – Celkový fosfor

pH – power of hydrogen

Sb. – Sbírka zákonů

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Drapák šterku [8] .....	5
Obrázek 2 Strojně stírané česle [10] .....	6
Obrázek 3 Lapák písku [13] .....	6
Obrázek 4 Usazovací nádrž [16] .....	8
Obrázek 5 Aktivační nádrže [20] .....	12
Obrázek 6 Schéma procesu [25] .....	19
Obrázek 7 Zásobní část [25] .....	21
Obrázek 8 Reakční část [25] .....	22
Obrázek 9 Schéma aktivační nádrže [25] .....	23
Obrázek 10 Usazovací nádrž [foto: Černý, 2021] .....	25
Obrázek 11 Zásobník topné vody [foto: Černý, 2021] .....	25
Obrázek 12 Nádrže na kyselý a zásaditý roztok [foto: Černý, 2021] .....	26
Obrázek 13 Zásobník vyčištěné odpadní vody [foto: Černý, 2021] .....	27
Obrázek 14 Schéma skříňky s přepínači [21] .....	28
Obrázek 15 Seřízení ventilů při uvedení do provozu [25] .....	31
Obrázek 16 Spínač pro nedostatek vody [foto: Černý, 2021] .....	32
Obrázek 17 Seřízení ventilů před zahájením experimentu [25] .....	36
Obrázek 18 Poloha ventilu V14- A [25] .....	37
Obrázek 19 Poloha ventilu V14- B [25] .....	38
Obrázek 20 Koncentrát umělé odpadní vody [foto: Černý, 2021] .....	44
Obrázek 21 Schéma vnitřní recirkulace [25] .....	48
Obrázek 22 Graf závislosti účinnosti na recirkulačním poměru [25] .....	49

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Emisní limity vyčištěných odpadních vod [24] .....	15
Tabulka 2 Rozměry zařízení [25].....	20
Tabulka 3 Objemy nádrží [25] .....	20
Tabulka 4 Maximální čerpaný objem čerpadel [25] .....	20
Tabulka 5 Maximální otáčky míchadel [25] .....	20
Tabulka 6 Měřený rozsah veličin [25] .....	21
Tabulka 7 Požadované stáří kalu [25].....	50